阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物

宮 縁 育 夫* • 星 住 英 夫** • 高 田 英 樹*** • 渡 辺 一 徳**** • 徐 勝*****

(2002年8月12日受付, 2003年3月6日受理)

Pumice-fall Deposits from Aso Volcano during the Past 90,000 Years, Southwestern Japan

Yasuo MIYABUCHI*, Hideo HOSHIZUMI**, Hideki TAKADA***,

Kazunori WATANABE**** and Sheng XU*****

Aso central cones located within Aso caldera, central Kyushu, southwestern Japan, initiated their activity soon after the formation of the caldera (ca. 90 ka). The cones have produced voluminous airfall tephra layers and lava flows. Most of the tephra layers distributed in and around Aso caldera are andesite to basaltic-andesite scoria-fall and ash-fall deposits. Their stratigraphy is very complicated because it is difficult to distinguish between scoria-fall layers in the field. However, dacite to rhyolite pumice-fall deposits from some central cones interbedded between the tephra layers are very useful to correlate stratigraphic units at separated localities. Therefore, we used the pumice-fall deposits in order to construct the tephrostratigraphy and eruptive history of Aso central cones during the past 90,000 years. Thirty-six pumice-fall deposits were identified including eleven major key beds. In ascending order they are Nojiri pumice (NjP), Ogashiwa pumice (OgP), Yamasaki pumice 5 (YmP5), Sasakura pumice 2 (SsP2) and 1 (SsP1), Aso central cone pumice 6 to 3 (ACP6-ACP3), Kusasenrigahama pumice (Kpfa) and Aso central cone pumice 1 (ACP1). Phenocrystic minerals of most pumice are plagioclase, ortho- and clinopyroxene and magnetite, but NjP, ACP5, ACP3 and ACP1 include biotite, and NjP and SsP2 contains hornblende phenocrysts. On the basis of several ¹⁴C ages of buried soils just below pumice (above Kpfa) and stratigraphic position eruption ages for the eleven major pumice are estimated as follows: NjP (85 ka), OgP (80 ka), YmP5 (69 ka), SsP2 (57 ka), SsP1 (56 ka), ACP6 (52 ka), ACP5 (45 ka), ACP4 (40 ka), ACP3 (39 ka), Kpfa (31 ka) and ACP1 (4 ka). During the past 90,000 years Aso central cones produced pumice-fall deposits at an interval of about 2,500 years. Many of the sources of the pumice appear now buried under the present Aso central cones.

1. はじめに

阿蘇火山は九州中央部に位置し、現在も活動中の火口 丘をもつカルデラ火山である。その活動は、約27万年前 の Aso-1 火砕流を含む噴火サイクルで始まり、その後、 約9万年前の Aso-4 サイクルまで4回の大規模な火砕流 噴火を繰り返し(小野・他、1977;松本・他、1991)、南北

 * 〒860-0862 熊本市黒髪 4-11-16 森林総合研究所九州支所 Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Kurokami 4-11-16, Kumamoto 860-0862, Japan.
 ** 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第 7

- 產業技術総合研究所地球科学情報研究部門 Institute of Geoscience, Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba Central 7, Higashi 1–1–1, Tsukuba 305–8567, Japan.
- *** 〒862-8609 熊本市水前寺 6-18-1 熊本県教育庁文化課 Cultural Division, Kumamoto Prefectural Govern-

約25 km, 東西約18 km のカルデラを形成した(小野・ 渡辺, 1985). 阿蘇カルデラ内には,約9万年前のAso-4 直後に活動を開始した(小野・渡辺, 1983)17座以上の 火山の複合体である中央火口丘群が存在している. カル デラ周辺のAso-4火砕流堆積物上には,中央火口丘群起 源の膨大な量の降下テフラが堆積しているが, Aso-4以

ment, Suizenji 6-18-1, Kumamoto 862-8609, Japan.

- ***** 〒860-8555 熊本市黒髪 2-40-1 熊本大学教育学部 Faculty of Education, Kumamoto University, Kurokami 2-40-1, Kumamoto 860-8555, Japan.
- ***** グラスゴー大学スコットランド環境研究センター Scottish Universities Environmental Research Centre, University of Glasgow, Scottish Enterprise Technology Park, East Kilbride, G75 0QF, UK.

Corresponding author: Yasuo Miyabuchi e-mail: yasuo@affrc.go.jp

降の噴火史は十分に確立されていない.

本研究は、対比が比較的容易である降下軽石堆積物に 注目し、その層序や岩相、噴出年代を明らかにすること によって、Aso-4以降、約9万年間のテフラ層序の骨組 みを確立することを目的としている。

2. 阿蘇中央火口丘群テフラに関する研究史と層序の 概要

約9万年前に活動を開始した現在の中央火口丘群のマ グマは玄武岩から流紋岩までの広い組成範囲からなり, 現在見えている山体の形成順序は小野・渡辺(1985)や 渡辺(2001)によって詳しく述べられている.

降下テフラについては、高田(1989)、早川・井村 (1991)、山田・久保寺(1996)、馬場・他(1999) などの研 究がある. このうち早川・井村(1991) は Aso-4 以降の 噴火史を記述したが、Aso-4 だけでなく、広域テフラ(姶 良 Tn 火山灰、鬼界アカホヤ火山灰)の対比などにも問 題点を残したものになっている(小野・他、1995). Aso-4 以降のテフラ層序の概要を最もよく表しているのは、 高田(1989) による研究で、中央火口丘起源の6層の降 下軽石(ACP1~ACP6) と広域テフラとの層位関係を報 告している. しかしながら、これらの研究では各テフラ の記載は十分でなく、テフラの年代についても新しい部 分を除いて十分に議論されていない.

阿蘇火山中央火口丘群から噴出し降下テフラは、とく に阿蘇カルデラ東方域にあたる一の宮町・波野村・高森 町付近に厚く堆積している. Aso-4 以降の全層厚は厚い ところで 60 m を超えており、カルデラ縁では 100 m 程 度に達している(渡辺・藤本, 1992).

先述のように、中央火口丘群のマグマの組成には幅が あるものの、玄武岩~玄武岩質安山岩が最も卓越してい る (小野, 1989). そのことを反映して, 降下テフラの大 部分は安山岩から玄武岩質の降下スコリア堆積物と降下 火山灰である、それらの量は膨大であり、岩相も極めて 酷似している.一方,降下スコリアや火山灰層間には, いくつかの軽石層が挾在していて、テフラ層序を把握す る上での重要な鍵層となっている (Table 1). 調査地域 における鍵層としては、広域に分布する3層のテフラが 従来知られていた。それらは草千里ヶ浜軽石(略称 Kpfa または ACP2), 約 25,000 yrs BP (¹⁴C 年代;池田・他, 1995)の姶良 Tn 火山灰(略称 AT; 町田・新井, 1976; 1992) および約 6,300 yrs BP の鬼界アカホヤ火山灰 (略 称 K-Ah; 長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978; 1992) で ある (渡辺・高田, 1990 など). しかし, これらの鍵層を 含め、全てのテフラは噴出源に近いカルデラ内では中央 火口丘群の新しい噴出物に覆われるため、1万年前より

Table 1. List of pumice-fall deposits and their stratigraphic relations with widespread tephra layers. *Accurate stratigraphic positions cannot be determined.

阿蘇中央火口丘第1軽石 Aso central cone pumice 1 (ACP1) 中久保第1軽石 Nakakubo pumice 1 (NbP1) 中久保第2軽石 Nakakubo pumice 2 (NbP2) 保手が谷軽石* Hotegatani pumice (HP)* 草千里ヶ浜軽石 Kusasenrigahama pumice (Kpfa=ACP2) 水ノ元第1軽石 Mizunomoto pumice 1 (MzP1) 水ノ元第2軽石 Mizunomoto pumice 2 (MzP2) 阿蘇中央火口丘第3軽石 Aso central cone pumice 3 (ACP3) 阿蘇中央火口丘第4軽石 Aso central cone pumice 4 (ACP4) 水ノ元第3軽石 Mizunomoto pumice 3 (MzP3) 阿蘇中央火口丘第5軽石 Aso central cone pumice 5 (ACP5) 阿蘇中央火口丘第6軽石 Aso central cone pumice 6 (ACP6) 水ノ元第4軽石 Mizunomoto pumice 4 (MzP4) -----九重飯田火砕流 Kuju Handa pfl (Kj-Hnd) ca.54 ka ----大道第1軽石 Ohmich pumice 1 (OmP1) 笹倉第1軽石 Sasakura pumice 1 (SsP1) 笹倉第2軽石 Sasakura pumice 2 (SsP2) 山崎第1~第5軽石 Yamasaki pumice 1 to 5 (YmP1-YmP5) 山崎第6~第10軽石 Yamasaki pumice 6 to 10 (YmP6-YmP10) 山崎第11軽石 Yamasaki pumice 11 (YmP11) 山崎第12~第13軽石 Yamasaki pumice 12 to 13 (YmP12-YmP13) 上玉来第1軽石 Kamitamarai pumice 1 (KtP1) 上玉来第2軽石 Kamitamarai pumice 2 (KtP2) 小柏軽石* Ogashiwa pumice (OgP)* 祭場第1~第3軽石 Matsuriba pumice 1 to 3 (MbP1-MbP3) 野尻軽石 Nojiri pumice (NjP) ----- *阿蘇-4火砕流* Aso-4 pfl ca.89 ka -------

古いテフラの露出はほとんどない.またテフラが次第に 薄くなるカルデラ東方域においても、下位のテフラの露 出は限定されており、これらのことがテフラ全体の調査 を困難にしていた.最近になって、約15,000年間の噴火 史の概要が明らかにされつつある(渡辺・他、1991;渡 辺、1992;宮縁・渡辺、1997)が、Aso-4以降、約9万年間 の噴火史を組み立てるには至っていない.

波野村を南北に縦断する広域基幹林道阿蘇東部線の工 事が1995年に開始されたことに伴い、多くの露頭が出 現した.筆者らは、1997年より林道工事に伴う切り取り 法面における層序・層相の観察と試料の採取を行ってき た.さらにテフラが比較的薄く概観が把握しやすいカル デラの南西側や遠方の地域においても現地調査を実施し た (Figs. 1, 2).



Fig. 1. Site-location map of measured stratigraphic sections in and around Aso caldera. Open and solid triangles show peaks of major Pre-Aso volcanoes and post-caldera central cones, respectively.

各露頭においては、降下スコリア・軽石・火山灰・火 山灰土といった全てのテフラおよび土壌層に関して観察 を行っているが、本報ではテフラ層序を確立するうえ で、鍵層となる主な降下軽石層について、その層序と特 徴について述べる.

阿蘇カルデラ周辺に分布する Aso-4 以降の降下軽石層 は、今回の調査により確認できただけで 36 層と多い (Fig. 3, Table 2). 軽石層はしばしば砂質の火山灰層を伴 い、上下を褐色火山灰土層で区切られる. それらの軽石 層以外にも薄い火山灰層が褐色火山灰土層中に断片的に 認められることがある.

阿蘇中央火口丘起源の降下軽石としては、阿蘇中央火 口丘第1~第6軽石(高田,1989)と保手が谷軽石(馬 場・他,1999)がこれまで報告されているが、今回の調 査によって新たに29層の降下軽石層が発見された.こ れまで報告されている軽石層については、対比の混乱を 避けるために同じ層名を踏襲し、新たに認められた軽石 に関しては新称を与えることにした.なお、阿蘇中央火 口丘第1~第6軽石間にも新たな軽石が認められただけ でなく、今後の調査によっても軽石が発見される可能性 も高いので、模式地点と上位からの軽石層数を用いて命 名する方法を採用した(例えば、山崎第1軽石など).

以下では、これらの軽石層の中で、対比に重要な軽石 層について詳しく記述するが、層厚分布がある程度明ら かになった軽石層に関しては、Fierstein and Nathenson (1992)の方法を用いて見かけ体積を計算し、その量から VEI (Volcanic Explosivity Index; Newhall and Self, 1982) を決定した (Table 2).見かけ体積が計算できなかった 軽石層については、おおよその層厚や分布から VEIを 推定した.また、本論で記載する色調はマンセル方式の 標準土色帖(小山・竹原, 1967)によるものである.

3. 主要な降下軽石堆積物の記載

3-1 野尻軽石(NjP;新称)

野尻軽石(略称 NjP)は、高森町祭場(A0218 地点) ***** および波野村山崎(A0236 地点)において認められた軽 石層である.模式地(A0218 地点)では Aso-4 の上位約 2.5 mに存在しており、全層厚は 132 cm である(Fig. 2). 宮縁育夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・徐勝



Fig. 2. Stratigraphic relations of airfall tephra layers from Aso central cones at sections northeast to southeast of Aso caldera. See Fig. 1 for locations of the sites.



Fig. 2. continued.



Fig. 3. Generalized composite stratigraphy of tephra layers from Aso central cones during the past 90,000 years at the east of Aso caldera. Detail names of pumice-fall deposits are shown in Tables 1 and 2. Ages were determined by calibrated ¹⁴C dates and K-Ar dates and ages in parentheses were estimated by their stratigraphic positions.

オリーブ褐色 (2.5Y4/6) のシルト質火山灰層を挟んで下 部と上部とに分かれる、下部の層厚は77 cm で、全体的 に浅黄色 (2.5Y7/3) ~ 淡黄色 (2.5Y8/4) に風化している が、粒径や色調の違いにより少なくとも4つのフォール ユニットに区分できる. 下部の上半分は軽石の最大粒径 (MP;各露頭における最大の軽石3個の長径平均値)は 4 cm と粗粒で、岩片や暗色の軽石が認められる、シルト 質火山灰 (層厚 10 cm)を挟んだ上部は層厚 45 cm で,下 部と同様に淡黄色 (2.5Y8/4) に風化しており (MP: 2.5 cm), 少量の黒色岩片と黒曜石を含んでいる. 軽石中の 有色鉱物としては、下部には角閃石が認められ、上部に は角閃石と黒雲母が含まれている. このように上部と下 部とで斑晶鉱物組合せが異なるだけでなく、角閃石と黒 雲母の両方を含むことは、阿蘇起源テフラとして特異で ある. 模式地の約8km 北方のA0236地点では層厚が57 cm と薄くなり、カルデラ北東方では存在しないことか ら、本層の分布主軸は南東方向にあるものと考えられ る.小野・他 (1977) は、竹田図幅南西端地域 (A0218 地 点より南東へ3 km 付近) において Aso-4 直上に厚さ 170 cm に達する白色軽石層を認めており、おそらくそ の軽石層は本テフラに相当するものである.本テフラの 正確な分布は不明であるが、カルデラ縁から6kmを超 えた地点においても約130 cmの層厚を有することか ら、本層は Aso-4 以降における最大級の噴火堆積物の一 つであろう (VEI 4~5 程度).

3-2 小柏 軽石 (OgP; 新称)

阿蘇カルデラの北東方においては、Aso-4の約1~2m 上位の層準に、風化していて明褐色(7.5YR5/8)を呈す る軽石層が存在する.本層は、一の宮町小柏(A0106地 点)を模式地とすることから、本報で小柏軽石(略称 OgP)と命名した.層厚はカルデラ北東方の3地点(A 9806, A0106, A9915地点)とも16 cm であり、全体的に 無層理である.下位には時間間隙なく2~3 cm の青灰色 火山灰を伴っている.軽石の他に安山岩質の岩片と黒曜 石を少量含んでいる.MPは2.2~3.1 cm であり、軽石の 有色鉱物は斜方輝石と単斜輝石であり、長柱状の斜方輝 石を含むことが特徴である.

本層が、テフラ層全体が厚い波野村付近におけるどの 軽石層に対比されるのかは明らかにできていない. さら に前述の野尻軽石 (NjP) との上下関係を直接確認でき る露頭が発見できず、正確な層序関係は不明である. し かしながら、NjP がテフラ層全体が最も厚いカルデラ東 方域において Aso-4 の約 2.5 m 上位に存在するのに対し て、本層はテフラ層がやや薄いカルデラ北東方で Aso-4 の約 1~2 m 上位の層準にあること (Fig. 2) から、現在 のところ NjP の方が Aso-4 に近い層準にあるものと考 えている.

3-3 山崎第10軽石~第6軽石(YmP10-YmP6;新称)

波野村山崎(A9746 地点)の地表下 41.9~42.9 m 付近 および A9903 地点の 50.6~51.5 m 深付近(両地点とも 上位に不整合を挟む)には、火山灰土壌を挟んで、5 層の 降下軽石堆積物があり(Figs. 2, 4A)、下位より山崎第 10 軽石(略称 YmP10)~山崎第6 軽石(YmP6)と命名し た.その中でも、浅黄色(2.5 Y7/3)の山崎第9 軽石 (YmP9)と縞状軽石を含む山崎第8 軽石(YmP8)は層厚 が大きく、明瞭である(Fig. 4A).

3-4 山崎第5軽石~第1軽石(YmP5-YmP1;新称)

波野村山崎(A9746 および A9903 地点)では地表下 40~50 m付近に、いくつかの軽石層を含み著しく成層 した火山灰累層が存在する(Fig. 2). この火山灰累層の 全層厚は A9903 地点で約 8.8 m, A9746 地点では約 7.6 m であるが、多くの不整合面が挟まれるとともに、火山 灰累層の最上位は侵食されており、堆積直後にはさらに 厚かったと考えられる. この火山灰層は、カルデラ北東 方においても確認することができ(地表下 10~15 m付 近, 層厚 1~2 m)、テフラの対比を行う上で、よい指標 となっている. 少なくとも 10 回以上のわずかな休止期 は認められるが、全体としては比較的短時間に噴出した ものと推定される.

この著しく成層した火山灰累層中には、概ね5つの層 準に降下軽石が認められ、最下位付近に存在するのが山 崎第5軽石(略称 YmP5)である. YmP5 を含む火山灰 累層の層厚は波野村山崎付近で 2.3~2.5 m であり、下部 1/3 程度が主として軽石の挾在する火山灰層で、上部 2/ 3程度が主としてスコリアを含む成層した火山灰累層か らなる.火山灰累層最下部の黒褐色 (2.5Y3/1)火山灰層 (層厚 10~18 cm) の直上に、5つの軽石 (YmP5~YmP 1) の中では最も厚い軽石層が存在する. その軽石はにぶ い黄橙色 (10YR7/4) を呈し、層厚は 13~44 cm (A9748 地点で最大)で、中央付近に黒褐色火山灰層が挾在する ことがある. MP はどの地点も 3.5 cm 以上で, A9903 地 点では 5.5 cm となっていることから, 分布主軸は東か ら東北東方向と推定される. 軽石中の有色鉱物は斜方輝 石と単斜輝石であるが、軽石層下部は黒曜石(最大粒径 0.5~2.2 cm) に富むことが特徴である. その軽石層から 20~40 cm 程度の成層した火山灰累層(細砂~中砂)を 挟んだ上位には軽石に富む黒褐色火山灰累層(中砂~粗 砂) があり、その MP は 0.7~2 cm である. この軽石混 じり火山灰累層の上位からは、スコリアが卓越するよう になる.

上位の YmP4~YmP1 は、火山灰層中に挾在する軽石 であり、それぞれ火山灰と成層している. このうち最上

Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso central cones during the past 90,000	years.
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso central cones during the past	90,000
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso central cones during the	past
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso central cones during	the
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso central cones	during
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso central	cones
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from Aso	central
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits from	A_{SO}
Table 2. Characteristics of pumice-fall deposits	from
Table 2. Characteristics of pumice-fall dep	osits
Table 2. Characteristics of pumice-fall	del
Table 2. Characteristics of pumice-fa	II
Table 2. Characteristics of pumice	Ĥ
Table 2. Characteristics of	pumice
Table 2. Characteristics	of
Table 2.	Characteristics
	Table 2. C

An central core particle (Arc) (an) (min arcs) composition* (a) (min arcs) composition* (a) As central core partic (APP) an arcs burded) 4 E opx, cpx, bi unknown 23 scattered in astronomy Madaulo punice (APP) unknown 21.13 SET opx, cpx, bi unknown 23 scattered in astronomy Madaulo punice 2 (APP) unknown 21.13 SET opx, cpx, bi unknown 23 scattered in astronomy As central core punice 3 (APP) unknown 21.13 SET opx, cpx 0.07 3 contrato holid curved in unknown As central core punice 3 (ACP) unknown 21 EEEE opx, cpx 0.07 3 contrato holid curved in unknown As central core punice 3 (ACP) unknown 23 unknown 23 bi opx, cpx unknown 3 indude undef As central core punice 3 (ACP) unknown 23 unknown 23 unknown 3 contrato holid undef unknown 3	Pumice-fall deposit	Source /or	Age	DISUTDUIDU	Manc mineral	Dully volume		CIMINAL VICTIANAD DIST
Asso central core punice 1 (ACP1) an area buried by koncretals have i		correlated lava	(ka)	(main axis)	composition*	(km ³)		
Nakadob prunice ((APF)) Anucleana 17 ENE Proc. cpx, ol. unknown 23 scattered in structured	Aso central cone pumice 1 (ACP1)	an area buried by	4	ш	opx, cpx, bi	unknown	Ø	scattered in ash layer
Natisfub primies (NPP)NumberNum	Mababaho mimina 1 (MbD1)	NULIEZUKA IAVA	17	ENE-F	one ene ol	mondan	7	conttared in ach lavar
Answertightum punice (K)(F) ^(1,1) , unknown 2,13 5,12 0,0x, cpx, b,0 0,00 2,39 5 criantin bulkown	N-1-1-1-1-2 ATEND		1 :	a-ana	upa, cpa, ut		75	
Horegrant Line Signal	Nakakubo pumice 2 (NDF2)	unknown.	<u>e</u> :	ENE	opx, cpx	UIINUUNII	? '	scattered III soll tayer
Kussenrigahama punice (Kpfi=-ACP2) Kussenrigahama 31 E ad S ops, cpx 2.39 5 6 fail units, on biclude under primes (ACP3) Kussenrigahama Mizamonoto punice 1 (M2P1) unknown 31 E-SE ops, cpx unknown 3 crystal rela- biclude under primes (ACP4) mknown 3 crystal rela- biclude under primes (ACP4) an outbown 3 crystal rela- biclude under primes (ACP4) an outbown 3 crystal rela- biclude under primes (ACP4) an outbown 3 crystal rela- biclude under prime apprime an outbown 3 crystal rela- biclude under prime apprime an outbown 3 crystal promotic prime apprime Ass central cone punice 3 (ACP5) unknown 5 mknown 3 crystal promotic prime apprime an outbown 3 crystal promotic prime apprime Ass central cone punice 3 (ACP5) unknown 5 mknown 3 crystal promotic primes apprime crystal prom Sastaina punice	Hotegatani pumice (HP)	unknown	21-13	SE?	opx, cpx, ho	unknown	Ŷ	contain banded pumice and scoria
Mizunomoto punice 1 (MzP1) unknown 31 E-SE opx, bit unknown 3 india unknown 3	Kusasenrigahama pumice (Kpfa=ACP2)	Kusasenrigahama	31	E and S	opx, cpx	2.39	5	6 fall units, one of the thickest pumice (key
Mizunomoto purnice 2 (AZP) unknown 31 E-E/E opx, cpx unknown 3 include under Also central cone purnice 3 (ACP) Takanoohun 3 unknown 3 ordnin tokelu Also central cone purnice 3 (ACP) Takanoohun 3 unknown 3 ordnin tokelu Also central cone purnice 3 (ACP) Takanoohun 3 NNE opx, cpx unknown 3 ordnin tokelu Also central cone purnice 5 (ACP) unknown 3 NNE opx, cpx unknown 3 ordnin tokelu Also central cone purnice 5 (ACP) unknown 3 NNE opx, cpx unknown 3 ordnin tokelu Also central cone purnice 4 (ACP) unknown 3 NNE opx, cpx unknown 3 ordnin tokelu Also central cone purnice 4 (ACP) unknown 5 unknown 3 ordnin tokelu ordnin tokelu Also central cone purice 4 (ACP) unknown 5 unknown 007 3 several towelu several towelu several								bed)
Mizunomoto jumice 2 (MzP2) unknown 36 unknown 36 unknown 36 crystal rich 37 crystal rich Aso central cone pumice 3 (ACP3) Takanoobane 39 ENE py, xp, xp, x 0.07 3 contain boated pumice proceed pumice and the proceed pumice statices of ACP3) unknown 40 unknown 40 unknown 45 NNE py, xp, x 0.07 3 contain boated pumice proceed proceed pumice proceed pumice proceed proceed proceed pumice proceed proceed pumice proceed pumice proceed pumice proceed proceed proceed pumice proceed pumice proceed proced proceed proceed proceed proceed proceed proceed proced proceed	Mizunomoto pumice 1 (MzP1)	unknown	31	E-ESE	opx, cpx	unknown	ŝ	include underlying grayish and blackish asl
As certral core punice 3 (ACP3) Takanobare 39 ENE bi, opc., opc. 007 3, contain holded punice 3 (ACP3) Takanobare 39 ENE opc., bi 0.113 4, 2 several fall un borde punice 4 (ACP4) Tateno lava? 40 unknown 9x, cpx unknown 3 contain holde formio borde punice 6 (ACP6) unknown 22 unknown 9x, cpx unknown 3 contain holde or opx, giv a unknown 53 contain borde punice 1 (AnP1) unknown 52 unknown 9x, cpx unknown 53 contain borde or opx, giv and the or opx giv a unknown 55 the opx, giv a unknown 55 the opx, giv a unknown 53 the opx, giv a unknown 54 contain borde or opx, giv a unknown 55 the opx	Mizunomoto numice 2 (MzP2)	unknown	36	unknown	onx. bi	unknown	Ø	crystal rich
Associated control control Associated contro Associated control	Aco central cone numice 3 (ACD3)	Tabanoohana	30	ENF	hi onv onv	0.07	,	contain cheidian handed numice
As central core punice 3 (AZP3) unknown 52 unknown 90, cpx, pix unknown 33 erotat and unknown 84 unknown 97, cpx unknown 35 unknown 70-69 E-E-E 97, cpx unknown 33 unknown 35 traffied at 4 Tamaski punice 3 (TmP3) unknown 70-69 E-E 97, cpx unknown 33 unknown 35 traffied at 4 Tamaski punice 2 (TmP1) unknown 70-69 E-E 97, cpx unknown 33 unknown 34 unknown 70-69 EVE-E 97, cpx unknown 33 unknown 35 traffied at 4 Tamaski punice 2 (TmP1) unknown 70-69 EVE-E 97, cpx unknown 33 unknown 35 traffied at 4 Tamaski punice 2 (TmP1) unknown 70-69 EVE-E 97, cpx unknown 33 unknown 24 unknown 70-69 EVE-E 97, cpx unknown 33 unknown 25 traffied at 4 Tamaski punice 2 (TmP1) unknown 70-69 EVE-E 97, cpx unknown 33 unknown 25 traffied at 4 Tamaski punice 2 (MP2) unknown 70 transiti punice 2 (MP2) unknown 70 transiti punice 2 (MP2) unknown 71 unknown 97, cpx unknown 33 unknown 24 unknown 25 traffied at 4 transiti punice 2 (MP2) unknown 75 unknown 97, cpx unknown 33 unknown 25 unknown 26 unknown 26 transiti punice 2 (MP2) unknown 75 unknown 97, cpx unknown 33 unknown 26 transition unknown 26 unknown 27 transition unknown 28 unknown 97, cpx unknown 33 unknown 26 transition unknown 28 unknown 97, cpx unknown 33 unknown	Aso central cone puttice 3 (ACF3)	Tetone long	5	ENE	ui, upa, cpa	0.0	. -	contain ousitutati, bandeu punnee second 6-11 mite sheidise nish inshids
Mizunomolo pumice 3 (MzP3) unknown 40 unknown 90x, cpx unknown 3 contain badfe Aso central cone pumice 5 (ACP5) unknown 23 UNE 90x, cpx 10,11 4 7 fail unks, politie pumice 1 (MP1) unknown 23 unknown 24 unknown 23 unknown 24 unknown 23 unknown 25 Namaski pumice 1 (XmP1) unknown 63 unknown 63 unknown 63 unknown 73 unknown 23 unknown 73 unknown 70-69 EEE 700, 100, 700, 700, 700, 700, 700, 700,	Aso central cone pumice 4 (AUP4)	I ateno tava?	P	ENE	opx, cpx	0.40	4	Several fail units, obsignan rich, include
 Maramoson genuncies 5(ACP5) unknown 45 NNE opx, cpx unknown 35 contain bande and hardword for CMP(1) Aso central once puncies 5(ACP5) unknown 53 Unknown 35 Unknown 36 E opx, cpx unknown 33 Sorian satteres Sasakura puncie 1 (SP1) Unknown 56 E opx, cpx unknown 33 Dombhande right and sasakura puncie 2 (SP2) Sunsaski puncie 2 (SP2) Unknown 56 E opx, cpx unknown 33 Sorian satteres Sasakura puncie 1 (SP1) Unknown 56 E opx, cpx unknown 33 Sorian satteres Sasakura puncie 2 (SP2) Unknown 51 Unknown 63 Unknown 33 Sorian satteres Yamasski puncie 3 (YmP3) Unknown 67 E-ESE opx, cpx unknown 33 stratified sha transaki puncie 4 (YmP4) Varnasski puncie 5 (YmP3) Unknown 70-69 E-EE opx, cpx unknown 33 stratified sha transaki puncie 6 (YmP4) Unknown 70-69 E-EE opx, cpx unknown 33 stratified sha transaki puncie 6 (YmP1) Unknown 70-69 E-EE opx, cpx unknown 33 stratified sha transaki puncie 6 (YmP1) Unknown 70-69 E-EE opx, cpx unknown 33 stratified sha transaki puncie 1 (YmP1) Unknown 70-69 E-EE opx, cpx unknown 34 puncie and straited transaki puncie 1 (YmP1) Unknown 70-69 E-EE opx, cpx unknown 35 contain bande vesicles Varnasski puncie 1 (YmP1) Unknown 70-69 E-NE-E opx, cpx unknown 35 contain bande vesicles Varnasski puncie 1 (YmP1) Unknown 70-69 E-NE-E opx, cpx unknown 35 contain bande vesicles Varnaski puncie 1 (YmP1) Unknown 70-69 E-NE-E opx, cpx unknown 35 contain bande vesicles Varnaski puncie 1 (YmP1) Unknown 70-69 E-NE-E opx, cpx unknown 35 contain bande vesicles Varnaski puncie 1 (YmP1) Unknown 70-6 P-N 200 Unknown 35 contain bande vesicles Varn								banded pumice
Aso central core punice 5 (ACP5) unknown 45 NNE opx, prx 0.11 4 7 fall units, porture 5 (ACP5) Aso central core punice 5 (ACP6) unknown 22 ENE opx, cpx unknown -3 corstal punic 1 (DnP1) Aso central core punice 5 (ACP6) unknown 35 unknown -3 corstal punic 1 (SaP1) unknown -3 corstal punic 1 (SaP1) a obsiditar rich Sasskura punice 1 (YmP1) unknown 56 E opx, cpx unknown -3 corstal punic 2 (YmP1) a obsiditar rich scoria sattree down -3 corstal punic 2 (YmP1) unknown -3 corstal punic 4 (pre) ponic 4 (pre) <td>Mizunomoto pumice 3 (MzP3)</td> <td>unknown</td> <td>4</td> <td>unknown</td> <td>opx, cpx</td> <td>unknown</td> <td>ę</td> <td>contain banded pumice, obsidian</td>	Mizunomoto pumice 3 (MzP3)	unknown	4	unknown	opx, cpx	unknown	ę	contain banded pumice, obsidian
Aso central cone purine 6 (ACP6) unknown 32 ENE ops, cpx unknown 33 crystal poor Michai punice 1 (AP1 ¹) unknown 35 u khown 37 unknown 33 crystal poor Michai punice 1 (AP1 ¹) unknown 56 E ops, cpx unknown 33 corsia satterer Sasakura punice 1 (Ym ¹) unknown 57 NE ho, ops, cpx unknown 33 corsia satterer Yamaski punice 2 (SaP2) unknown 61 unknown 61 unknown 73 constal arch Manaski punice 2 (Ym ²) unknown 63 unknown 73 unknown 73 corsia arch Manaski punice 2 (Ym ²) unknown 63 unknown 73 unknown 73 corsia arch Manaski punice 2 (Ym ²) unknown 63 unknown 73 unknown 73 straffied als Yamaski punice 2 (Ym ²) unknown 70 Yamaski punice 7 (Ym ²) unknown 70 Yamaski punice 1 (Ym ²) unknown 70 Kamitamara i punice 1 (Ym ²) unknown 70 Yamaski punice 1 (Ym ²) unknown 70 Kamitamara i punice 1 (Ym ²) unknown 70 Matsurthe punice 1 (Ym ²) unknown 70 Matsurthe punice 1 (Ym ²) unknown 70 Matsurthe punice 1 (MP1) unknown 73 Matsurthe punice 2 (MP2) unknown 73 Matsurthe punice 2 (MP2) unknown 85 Matsurthe punice 1 (MP2) unknown 85 Matsurthe punice (MP2) unknown 85 Matsurthe punice 1 (MP2) unknown 85 Matsurthe punice	Aso central cone pumice 5 (ACP5)	unknown	45	NNE	opx, bi	0.15	4	contain biotite
Mizunomoto pumice 4 (M2P4) unknown 52 unknown opx, cpx unknown 63 crystal poor Ohnich pumice 1 (SP1) unknown 55 unknown 66 unknown 63 crystal poor Sasakura pumice 1 (SP1) unknown 56 unknown 61 unknown 63 unknown 63 include overly Yamasaki pumice 2 (SP2) unknown 63 unknown 63 unknown 73 well startiffed ash Yamasaki pumice 2 (YmP3) unknown 63 unknown 65 unknown 73 well startiffed ash Yamasaki pumice 3 (YmP3) unknown 65 unknown 70-69 E e cpx, opx unknown 73 stratiffed ash Yamasaki pumice 6 (YmP6) unknown 70-69 E e cpx, opx unknown 73 stratiffed ash Yamasaki pumice 6 (YmP7) unknown 70-69 E e cpx, opx unknown 73 stratiffed ash Yamasaki pumice 7 (YmP7) unknown 70-69 E e cpx, opx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 7 (YmP7) unknown 70-69 E e cpx, opx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 7 (YmP7) unknown 70-69 E e cpx, opx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-69 E E e cpx, opx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-69 E NE-E opx, cpx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-69 E NE-E opx, cpx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-69 E NE-E opx, cpx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-69 E NE-E opx, cpx unknown 73 include undef Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-70 E NC-F opx, pi unknown 73 include useici Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 78 unknown 79 inthio ender Yamasaki pumice 1 (XmP12) unknown 78 unknown 78 unknown 73 inthia ender Yamasaki pumice 1 (XmP12) unknown 78 unknown 79 inthior ender Matsurha pumice 2 (XH2) unknown 78 unknown 79 inthionen 70 interven 70 unknown 70 inthrown 73 inthin ender Yamasaki pumice 2 (XH2) unknown 78 unknown 79 inthrown 70 inth	Aso central cone pumice 6 (ACP6)	unknown	52	ENE	opx, cpx	0.11	4	7 fall units, poorly sorted
Ohmichi pumice 1 (Om ⁷ 1) unknown 55 unknown 55 E opx, cpx unknown 3 scoria szattere Saskura pumice 1 (SaP1) unknown 51 WE opx, cpx 007 3 obsidian rich Saskura pumice 1 (SaP1) unknown 51 unknown 67 bernel opx, cpx unknown 3 scoria szattere Saskura pumice 1 (SaP1) unknown 63 unknown 63 unknown 63 wolk stattfied 90% cpx unknown 3 stratified saft a Yamsaki pumice 3 (YmP2) unknown 67 E-ESE opx, cpx unknown 3 stratified saft a Yamsaki pumice 6 (YmP6) unknown 67 E-ESE opx, cpx unknown 3 stratified ash a Yamsaki pumice 6 (YmP6) unknown 70–69 ENE-E opx, cpx unknown 3 stratified ash a Yamsaki pumice 7 (YmP7) unknown 70–69 ENE-E opx, cpx unknown 3 stratified ash a Y	Mizunomoto pumice 4 (MzP4)	unknown	52	unknown	xdo	unknown	Ÿ	crystal poor
Saskura punice 1 (XmP1) unknown 56 E opx, cpx 0.07 3 obsidiar rich Saskura punice 1 (XmP1) unknown 57 NE ho, opx, cpx 0.07 3 obsidiar rich Saskura punice 1 (XmP1) unknown 61 unknown 05 unknown 05 unknown 63 unknown 63 unknown 63 unknown 63 stratified sla 93 93 stratified sla 93 stratified sla 93 93 stratified sla 93 93 93 93 93 93	Ohmichi numice 1 (OmP1)	unknown	\$	unknown	ONY CUX	unknown	2	scoria scattered crystal noor
Saskura punice 1 (XmP1) unknown 50 E oyx, cpx 0.07 3 orosdaar nau Saskura punice 1 (YmP1) unknown 51 unknown 61 unknown 63 transfied asla vansaki punice 3 (YmP3) unknown 64 well startified asla vansaki punice 5 (YmP3) unknown 63 transfied asla vansaki punice 1 (YmP1) vansaki punice 5 (YmP3) unknown 64 well startified asla vansaki punice 5 (YmP3) unknown 64 well startified asla vansaki punice 1 (YmP1) vansaki punice 1 (YmP1) <td></td> <td></td> <td>22</td> <td>14017017</td> <td>vd> 'vdo</td> <td></td> <td>),</td> <td>scorid scatter of sugarant pool</td>			22	14017017	vd> 'vdo),	scorid scatter of sugarant pool
Sasakura purnice 2 (SsF2) unknown 57 NE ho, opx, cpx 0.07 3 homblende rocerly vession Yamasaki purnice 2 (SrP2) unknown 61 unknown 63 transfiled 63 well stratified 63 well stratified 63 well stratified 63 stratified ash a 73 stratified ash a 74 74 mshown 63 stratified 64 pt/strassi pt/strastrassi pt/strassi pt/strassi </td <td>Sasakura pumice I (SSPI)</td> <td>unknown</td> <td>R </td> <td>ц</td> <td>opx, cpx</td> <td>0.0/</td> <td>γî i</td> <td>obsidian rich</td>	Sasakura pumice I (SSPI)	unknown	R	ц	opx, cpx	0.0/	γî i	obsidian rich
Yamasaki pumice 1 (YmP1) unknown 61 unknown 63 stratified ash a vala stratified ash a	Sasakura pumice 2 (SsP2)	unknown	57	NE	ho, opx, cpx	0.07	ę	hornblende rich
Yamasaki pumice 2 (YmP2) unknown 63 tratified sah atratified sah atratratratified sah atratified sah a	Yamasaki pumice 1 (YmP1)	unknown	61	unknown	opx, cpx	unknown	4	include overlying thick ash, magnetite poor
Yamasaki pumice 2 (YmP2) unknown 63 transiki pumice 4 (YmP4) 0 73 stratified asha Yamasaki pumice 5 (YmP3) unknown 68 ENE-E opx, opx unknown 3 stratified asha Yamasaki pumice 6 (YmP3) unknown 70-69 E epx, opx unknown 3 stratified asha Yamasaki pumice 9 (YmP3) unknown 70-69 ENE-E opx, opx unknown 4 oontain banded Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, opx unknown 3 include roundi Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, opx unknown 3 include roundi Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, opx unknown 3 include roundi <								poorly vesiculated
Yamasaki pumice 3 (YmP3) unknown 65 unknown 90x, cpx unknown <3 stratified ash a Yamasaki pumice 3 (YmP4) unknown 67 E-ESE 90x, opx unknown 3 stratified ash a Yamasaki pumice 5 (YmP4) unknown 70-69 E-NE-E 90x, opx unknown 3 include under Yamasaki pumice 6 (YmP1) unknown 70-69 E-NE-E 90x, opx unknown 3 include rounder Yamasaki pumice 9 (YmP3) unknown 70-69 E-NE-E 90x, opx unknown 3 include rounder Yamasaki pumice 9 (YmP1) unknown 70-69 E-NE-E 90x, opx unknown 3 include rounder Yamasaki pumice 9 (YmP1) unknown 70-69 E-NE-E 90x, opx unknown 3 include rounder Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70-6 E-NE-E 90x, opx unknown 3 include rounder Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 70 E 90x, opx unknown 3 include rounder Yamasaki pumice 1 (YmP11) unknown 71 unknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 71 unknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamasaki pumice 1 (XP11) unknown 77 winknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamitamari pumice 1 (XP11) unknown 78 unknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamitamari pumice 1 (XP11) unknown 78 unknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamitamari pumice 1 (XP11) unknown 78 unknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamitamari pumice 1 (XP11) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 india opx Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 india opx (sfamitamari pumice 1 (MP1) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 india opx Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 90x, opx unknown 3 contain scoria wat we i weither opx 1000000000000000000000000000000000000	Yamasaki pumice 2 (YmP2)	unknown	63	unknown	opx, cpx	unknown	Q	well stratified ash and pumice
Yamasaki pumice 4 (YmP4) unknown 67 E-ESE epx, opx unknown 3 strafifed ash a Yamasaki pumice 5 (YmP5) unknown 68 ENE-E opx, epx unknown 3 include nuder Yamasaki pumice 6 (YmP6) unknown 70-69 E epx, opx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 8 (YmP9) unknown 70-69 ENE-E opx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 9 (YmP10) unknown 70-69 ENE-E opx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70-69 ENE-E opx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 E opx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 10 (YmP11) unknown 70 E opx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 70 E opx, epx unknown 3 include ash a Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 70 E opx, epx unknown 3 inthicrich Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 77 unknown 9px, epx unknown 3 inthicrich Kamitamarai pumice 1 (KP1) unknown 78 unknown 9px, epx unknown 3 inthicrich Xamasaki pumice 2 (KP2) unknown 78 unknown 9px, epx, bi unknown 3 inthicrich Xamisarutha pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 9px, epx, bi unknown 3 inthicrich Matsurtha pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 9x, epx, bi unknown 3 inthicrich Matsurtha pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 9x, epx, bi unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, bi unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, bi unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, bi unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, ho ² unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, ho ² unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, ho ² (px unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx, ho ² (px unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx unknown 3 contain social Matsurtha pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, epx unknown 3 contain social	Yamasaki pumice 3 (YmP3)	unknown	65	unknown	opx, cpx	unknown	Ŷ	stratified ash and pumice
Yamasaki pumice 5 (YmP5) unknown 68 ENE-E opx, cpx unknown 4 include under) Yamasaki pumice 6 (YmP1) unknown 70-69 EVE- opx, opx unknown 3 contain bandce Yamasaki pumice 7 (YmP1) unknown 70-69 ENE-E opx, opx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 9 (YmP1) unknown 70-69 ENE-E opx, cpx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 9 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 intin bandce Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 intin cich Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 71 unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 intin cich Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 71 unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 intin cich Kanitamarai pumice 1 (YmP1) unknown 78 unknown 0px, cpx unknown 3 cratified ash a Matsuriba pumice 2 (KP2) unknown 78 unknown 0px, cpx bi unknown 3 intin cich Kanitamarai pumice 2 (MP1) unknown 88 N NE? opx, hor? unknown 3 contain social Matsuriba pumice 2 (MP91) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, hor? unknown 3 contain social Matsuriba pumice 2 (MP91) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice 2 (MP91) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain social Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 9x, cpx pumer 40 unknown	Yamasaki pumice 4 (YmP4)	unknown	67	E-ESE	CDX, ODX	unknown	ę	stratified ash and pumice
Yamasaki pumice (YmP() unknown 70-69 E cpx, opx unknown 3 contain bandee Yamasaki pumice (YmP() unknown 70-69 ENE-E cpx, opx unknown 3 contain bandee Yamasaki pumice 9 (YmP3) unknown 70-69 ENE-E cpx, opx unknown 3 contain bandee Yamasaki pumice 9 (YmP1) unknown 70-69 ENE-E opx, cpx unknown 4 contain bandee Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70-69 ENE-E opx, cpx unknown 4 contain bandee Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 crystal por Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 71 unknown opx, cpx unknown 3 crystal por Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 7 unknown opx, cpx unknown 3 crystal caki Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 7 unknown opx, cpx unknown 3 crystal caki Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 7 unknown opx, cpx unknown 3 crystal caki Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 77 </td <td>Vamasaki nimice 5 (VmD5)</td> <td>uncuru</td> <td>68</td> <td>FNF_F</td> <td>onv cnv</td> <td>unknown</td> <td>4</td> <td>include underlying thick ash stratified</td>	Vamasaki nimice 5 (VmD5)	uncuru	68	FNF_F	onv cnv	unknown	4	include underlying thick ash stratified
Yamasaki pumice 6 (YmP6) unknown 70-69 E epx, opx unknown 3 oontain baude. Yamasaki pumice 7 (YmP7) unknown 70-69 ENE-E epx, opx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 9 (YmP9) unknown 70-69 ENE-E epx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 9 (YmP10) unknown 70 E epx, epx unknown 3 include rounde Yamasaki pumice 10 (YmP11) unknown 70 E epx, epx unknown 3 inthie rich Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 70 E epx, epx unknown 3 inthie rich Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 71 unknown 77 unknown 97x, epx unknown 3 inthie rich Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 77 unknown 97x, epx unknown 3 inthie rich Kamitamarai pumice 13 (YmP12) unknown 78 unknown 97x, epx unknown 3 inthie rich Kamitamarai pumice 1 (KP1) unknown 78 unknown 97x, epx unknown 3 inthie rich Kamitamarai pumice 2 (MP2) unknown 88-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 inthie rich Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 inthie rich Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 inthie rich Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NP) unknown 85-80 unknown 97x, epx, bi unknown 3 contain scoria			80		vd> 'vdo		r	moute and sch
 Maraski pumice o (11110) Maraski pumice o (1110) Maraski pumice (1110) Marashi pumice (1110) <l< td=""><td></td><td></td><td>07.02</td><td>F</td><td></td><td></td><td>·</td><td></td></l<>			07.02	F			·	
Yamasaki pumice 7 (YmP7) unknown 70-69 ENE-E epx, opx unknown 3 mclude rounde Yamasaki pumice 8 (YmP8) unknown 70-69 ENE-E opx, cpx unknown 4 contain bandee Yamasaki pumice 8 (YmP1) unknown 70-69 ENE-E opx, cpx unknown 4 contain bandee Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 resides Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 70 E opx, cpx unknown 3 orystal poor Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 71 unknown opx, cpx unknown 3 orystal poor Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 77 unknown opx, cpx unknown 3 orystal poor Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 77 unknown opx, cpx unknown 3 orystalds at a gatafifed at a gatafifed at a gatafited at a unknown 3 orystal at a gatafifed at a gatafifed at a gatafited at a gatafifed at a gatafifed at a gatafited at a gatafifed at a gatafi	r amasaki pumice o (rmro)	unknown	60-0/	0 	cpx, opx	unknown	n 1	contain banded pumice
Yamasaki pumice 8 (YmP8) unknown 70-69 ENE-E opx, cpx unknown 4 contain bande. Yamasaki pumice 9 (YmP10) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 3 lithic rich Yamasaki pumice 10 (YmP11) unknown 70 E opx, cpx unknown 3 lithic rich Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 71 unknown 0px, cpx unknown 3 ratriffed ah a Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 77 unknown 0px, cpx unknown 3 ratriffed ah a Kamitamara pumice 13 (YmP12) unknown 77 unknown 0px, cpx unknown 3 ratriffed ah a Kamitamara pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown 0px, cpx unknown 3 ratriffed ah a Kamitamara pumice 1 (KP1) unknown 78 unknown 0px, cpx unknown 3 ratriffed ah a Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, bi unknown 3 abundant 0px Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 0px, cpx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NJP) unknown 85-80 unknown 0px, cpx unknown 3 contain scoria	Yamasaki pumice 7 (YmP7)	unknown	70-69	ENE-E	cpx, opx	unknown	m	include rounded fine vesicles
Yamasaki pumice 9 (YnP9) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 4 vesicles Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 E opx unknown 3 ititri cich Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 70 E opx, cpx unknown 3 ititri cich Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 71 unknown opx, cpx unknown 3 tratified ash a Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown opx, cpx unknown 3 tratified ash a Kamitamarai pumice 1 (KrP1) unknown 78 unknown opx, cpx unknown 3 ititri cich Kamitamarai pumice 1 (KrP1) unknown 78 unknown opx, cpx unknown 3 tratified ash a Kamitamarai pumice 1 (KrP1) unknown 78 unknown opx, cpx, bi unknown 3 dundant opx. Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 88-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 dundant opx. Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, unknown 3 contain social. Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, unknown 3 contain social. Matsuriba pumice 3 (MP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx, unknown 3 contain social. Matsuriba pumice (MP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 contain social. Matsuriba pumice (MP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, ho ² hunknown 3 contain social.	Yamasaki pumice 8 (YmP8)	unknown	70-69	ENE-E	opx, cpx	unknown	4	contain banded pumice, lithic rich, rounded
Yamasaki pumice 9 (YmP9) unknown 70 ENE-E opx, cpx unknown 4 rounded vesic) Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 E opx, cpx unknown 3 lithii cich Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 71 unknown opx, cpx unknown 3 stratified ah a Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 76 unknown opx, cpx unknown 3 stratified ah a Kamitamarai pumice 1 (KP1) unknown 77 unknown opx, cpx unknown 3 lithii rich Kamitamarai pumice 2 (KP2) unknown 77 unknown opx, cpx unknown 3 lithii rich Kamitamarai pumice 2 (KP2) unknown 78 unknown opx, cpx unknown 3 ilthii rich Matsurtha pumice 2 (KP2) unknown 80 ME? opx, cpx, bi unknown 3 unknown 3 dundart opx Matsurtha pumice 2 (MPP1) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 well vesiculat Matsurtha pumice 2 (MPP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, unknown 3 contain scoria Matsurtha pumice 2 (MPP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsurtha pumice 2 (MPP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsurtha pumice 2 (MPP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 contain scoria Matsurtha pumice (NjP) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bi unknown 3 contain scoria								vesicles
Yamasaki pumice 10 (YmP10) unknown 70 E opx unknown 3 lithic rich Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 71 unknown 9x, cpx unknown 3 orystal poor Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 76 unknown 9x, cpx unknown 3 orystal poor Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 76 unknown 9x, cpx unknown 3 orystal poor Yamasaki pumice 13 (YmP12) unknown 77 unknown 9x, cpx unknown 3 orystal poor Kanitamarai pumice 13 (YmP12) unknown 78 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 abundant opx Kanitamarai pumice 1 (KP1) unknown 78 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 abundant opx Kanitamarai pumice 2 (KrP2) unknown 80 NR2: NR2: cpx, bi unknown 3 abundant opx Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 oortain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 oortain scoria Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown	Yamasaki pumice 9 (YmP9)	unknown	70	ENE-E	opx, cpx	unknown	4	rounded vesicles
Yamasaki pumice 11 (YmP11) unknown 71 unknown 6 crystal poor Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 76 unknown 9x, cpx unknown 3 crystal poor Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown 9x, cpx unknown 3 crystal poor Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown 9x, cpx unknown 3 ithtir rich Kamitamarai pumice 1 (KtP1) unknown 78 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 abundant opx. Kamitamarai pumice 1 (KtP1) unknown 78 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 abundant opx. Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 83 NE3-60 unknown 4 abundant opx. Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 9x, opx. 4 abundant opx. Matsuriba pumice 2 (MP2) unknown 85-80 unknown 9x, opx. 4 abundant opx. Matsuriba pumice 1 (MP1) unknown 85-80 unknown 9x, opx. 4 abundant opx. Matsuriba pumice (MP2) unknown 85-80 unknown 9x, opx. unknown 3 contain scoria	Yamasaki pumice 10 (YmP10)	unknown	70	ш	xdo	unknown	3	lithic rich
Yamasaki pumice 12 (YmP12) unknown 76 unknown 9x, cpx unknown 3 stratified ash a stratified ash a needles Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown 9x, cpx unknown 3 itthic ich Kamitamarai pumice 13 (YmP13) unknown 78 unknown 9x, cpx unknown 3 itthic ich Kamitamarai pumice 13 (YmP13) unknown 78 unknown 9x, cpx, bi unknown 3 well vesiculat Qashiwa pumice 14 (MbP1) unknown 80 NF? opx, cpx, bi unknown 4 abundant opx, cpx, bi Matsuriba pumice 2 (MbP1) unknown 85-80 unknown opx, cpx, ho? unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown opx, cpx, ho? unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (VjP) unknown 85-80 unknown opx, cpx, opx unknown 3 contain scoria	Yamasaki pumice 11 (YmP11)	unknown	11	unknown	opx, cpx	unknown	Q	crystal poor
Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown 0000, cpx, cpx unknown 3 lithic rich Kamitamarai pumice 1 (KtP1) unknown 78 unknown 0000, cpx, cpx 1000, mknown 3 blunknown 3 blunknown 3 well vesiculate Qasativa pumice 2 (KtP2) unknown 80 unknown 0000, cpx, cpx, bi unknown 3 well vesiculate Matsuriba pumice 1 (MbP1) unknown 80 unknown 900, cpx, py, bi unknown 4 abundant opx Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 900, cpx, py, bi 0000, mknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 900, cpx, py unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 900, cpx, py contain scoria Notizuriba pumice (NjP) unknown 85-80 unknown 900, cpx, py contain scoria Matsuriba pumice (NjP) unknown 85-80 unknown 900, cpx, py contain scoria Notiri pumice (N	Yamasaki pumice 12 (YmP12)	unknown	76	unknown	ODX. CDX	unknown	ę	stratified ash and pumice. abundant onx
Yamasaki pumice 13 (YmP13) unknown 77 unknown opx, cpx unknown 3 lithic rich Kamitamarai pumice 1 (KrP1) unknown 78 unknown opx, cpx unknown 3 abundant opx1 Kamitamarai pumice 2 (KrP2) unknown 78 unknown opx, cpx, bi unknown 3 abundant opx1 Jagastiva pumice (OgP) unknown 85-80 unknown opx, cpx, bo? unknown 4 abundant opx Matsuriba pumice 1 (MbP1) unknown 85-80 unknown 95x, cpx, bo? unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, bo? unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (MiP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx unknown 3 contain scoria Voitri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx,ho,cpx,bi unknown 4 divided by oli hornhlende								needles
Kamitamarai pumice 1 (KtP1) unknown 78 unknown 90x, cpx, bi unknown 3 abundant opx. Ogashiwa pumice (OgP) unknown 78 unknown 90x, cpx, bi unknown 3 well vesiculate Ogashiwa pumice (OgP) unknown 80 NE7 opx, unknown 4 abundant opx. Matsuriba pumice 1 (MbP1) unknown 83 unknown 85-80 unknown 3 moderately.w Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 9x, opx, unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 9x, opx, unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice (NjP) unknown 85-80 unknown 9x, dor, opx, unknown 3 contain scoria Notiri pumice (NjP) unknown 85-80 unknown 9x, dor, opx, opx unknown 3 contain scoria	Yamasaki pumice 13 (YmP13)	unknown	11	unknown	opx, cpx	unknown		lithic rich
Kamitamarai pumice 2 (KtP2) unknown 78 unknown opx, cpx, bi unknown 3 well vesiculate Ogashiwa pumice (OgP) unknown 80 NE? opx unknown 4 abundant opx: Ogashiwa pumice 1 (MbP1) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, ho? unknown 3 moderately we Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, opx unknown 3 contain scora Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, opx unknown 3 contain scora Matsuriba pumice 2 (MbP3) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, opx unknown 3 contain scora Matsuriba pumice (NjP) unknown 85-80 unknown 85 contain scora 3 contain scora Nojiri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx, lo ₀ , cpx, bi unknown 4 divided by oliv	Kamitamarai pumice 1 (KtP1)	unknown	78	unknown	opx, cpx	unknown		abundant opx needles
Ogashiwa pumice (OgP) unknown 80 NE? opx unknown 4 abundant opx. Matsuriba pumice (MbP1) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, ho? unknown 3 moderately we Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown 0px, cpx, opx unknown 3 contain scora Matsuriba pumice 2 (MbP3) unknown 85-80 unknown 9x, cpx, opx unknown 3 contain scora Matsuriba pumice 3 (MbP3) unknown 85-80 unknown 9x, cpx unknown 3 contain scora Nojiri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx,ho,cpx,bi unknown 4 divided by oliv	Kamitamarai pumice 2 (KtP2)	unknown	78	unknown	opx. cpx. bi	unknown		well vesiculated
Masuriba pumice i (MbP1) unknown 85-80 unknown opx, cpx, ho? unknown 3 moderately we Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown cpx, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 3 (MbP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx unknown 3 contain scoria Notigri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx, ho, cpx, bi unknown 4 divided by oliv Notigri pumice (NjP)	Ogashiwa pumice (OgP)	unknown	80	NE?	Xdo	unknown	4	abundant opx needles
Matsuriba pumice 2 (MbP2) unknown 85-80 unknown cpx, opx unknown 3 contain scoria Matsuriba pumice 3 (MbP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx unknown 3 contain scoria Nojiri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx,ho,cpx,bi unknown 4 divided by oliv	Matsuriha numice 1 (MbP1)	unknown	85-80	unknown	onx. cnx. ho?	unknown	"	moderately weathered, crystal-poor
Matsuriba pumice 3 (MbP3) unknown 85-80 unknown opx, cpx unknown 3 contain scoria Nojiri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx,ho,cpx,bi unknown 4 divided by oliv hornhende	Matsuriba pumice 2 (MbP2)	unknown	85-80	unknown	CDX, ODX	unknown	ŝ	contain scoria
Nojiri pumice (NjP) unknown 85 ESE-SE opx,ho,cpx,bi unknown 4 divided by oliv hornhende	Matsuriha numice 3 (MhP3)	unknown	85-80	unknown	onx cnx	unknown		contain scoria
no (no and the interview records on the interview (no construction) (no construction	Noiiri numice (NiP)	unknown	85	FSF-SF	onv ho onv hi	unknown	4	divided by olive-brownish silty ash contair
	(that winned infort		3		->fudafamfuda		-	hornhlande

mafic menerals: bit biotite; cpx: clinopyroxene; ho: hornblende; ol: olivine; opx: orthopyroxene
 calculated by Fierstein and Nathenson's (1992) method
 ** Volcanic Explosivity Index (Newhall and Self, 1982)

阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物



Fig. 4 Stratigraphic correlation of representative sections for several pumice-fall deposits. Note that explanation in this figure is different from that in Figs. 2 and 3.

位に存在するのが山崎第1軽石(YmP1)で,淡黄色 (2.5Y8/4)を呈している(Figs. 2, 3). この厚い火山灰累 層中では最下位のYmP5に次いで大規模なものであり, 層厚は最も厚いA9903地点で22 cmで, MPは3.4 cm である. 軽石層の下位と上位には厚い火山灰層を伴って いる. 軽石中の有色鉱物は斜方輝石と単斜輝石である が,磁鉄鉱などの鉄鉱物は少ない. 発泡は悪く,気泡の 形もさまざまである.

3-5 笹蒼第2軽石 (SsP2)

笹倉第2軽石(略称SsP2)は、波野村笹倉(A0101地 点)の地表下約21mの露頭最下部付近(Fig. 2)で発見 された浅黄橙色(10YR8/4)の軽石層である(宮縁・高 田,2002).波野村山崎では、前述した火山灰累層上面か ら5m上位付近の層準に存在している.軽石はやや風化 しているが、A0101において層厚は10cmで、MPは2.7 cmである.軽石中の有色鉱物は、角閃石を多量に含むこ とが特徴であり、他に斜方輝石と単斜輝石が認められ る.この軽石層は、波野村笹倉においては純層をなして いるが、南方の波野村山崎付近では軽石混じりのにぶい 黄色(2.5Y6/4)火山灰層となること(Fig.4B)から、分 布主軸は阿蘇中央火口丘群から北東方向にあるものと考 えられる.

3-6 笹倉第1軽石 (SsP1)

笹倉第1軽石(略称 SsP1)は、SsP2の上位 10~20 cm 付近に存在する降下軽石である(宮縁・高田, 2002).本 層が命名された波野村笹倉(A0101地点)では純層をな さない(MP: 1.6 cm)が、南方へ行くにしたがって、明瞭 な軽石層となり、波野村山崎(A9746地点)では、層厚 30 cm に達し(Fig. 4B)、MP は 3.6 cm であることから、 分布主軸は東方向であると推定される.軽石中の有色鉱 物は、斜方輝石と単斜輝石であるが、本層はやや多量の 黒曜石(最大粒径 2 cm 程度)を含むことが特徴である. 上位には暗灰黄色(2.5Y4/2)を呈する 2 枚の降下火山灰 層があり、本軽石層を対比する際の有用な手がかりと なっている.

3-7 九重火山飯田火砕流堆積物 (Kj-Hnd)

飯田火砕流堆積物は、九重火山山麓に分布する角閃石 デイサイト質の火砕流堆積物である(小野・他,1977; 鎌田,1997;略称 Kj-Hnd あるいは Hnd).本堆積物は阿 蘇火山起源のテフラではないが、降下軽石の対比に重要 なテフラである.

本層は波野村笹倉(A0101)より北方の地点において は、後述する阿蘇中央火口丘第6軽石の下位10~40 cm 付近の火山灰層・火山灰土層中に角閃石デイサイトの岩 片や軽石を含む淘汰の悪い火砕物として認められる (Fig. 2). それらの岩片や軽石は飯田火砕流堆積物に含 まれるものに酷似しており、高田 (1989) が示した飯田 火砕流堆積物の層準とも一致している. これらのことか ら、このデイサイト質岩片・軽石を含む堆積物は飯田火 砕流堆積物の末端相と考えられる. 今回、この火砕物が 認められた地点は、いずれも飯田火砕流堆積物の主要な 分布域 (小野・渡辺, 1985) よりも南〜南西に位置する が、わずか 4.5 km 以内にあり、火砕流の辺縁部やそれに 伴う火砕サージが到達したものと考えられる.

3-8 阿蘇中央火口丘第 6 軽石 (ACP6)

阿蘇中央火口丘第6軽石(高田, 1989;略称 ACP6) は、カルデラ北東方では地表下8~11 m 付近の火山灰土 層中に挾在する降下軽石である(Fig. 2). Aso-4 以降の テフラ累層全体の厚さが増す波野村水ノ元付近(A9831 地点)では地表下約35.5 m に認められる.

ACP6は、複数のフォールユニットからなり、全体的 には淘汰の悪い軽石および火山灰層からなることが特徴 である、地点ごとにフォールユニット数は異なるが、大 きく7つのフォールユニットに区分される (Fig. 4C). 最下位のユニット1は、比較的淘汰の良い、にぶい黄橙 色 (10YR7/4) 降下軽石層である. 波野村山崎 (A0011, A9903, A9746 地点) 付近で最も厚く, 層厚は 11~14 cm で MP は 1.9~2.4 cm である. ユニット 2~5 は黄褐色 (2.5Y5/4)~にぶい黄色 (2.5Y6/4) を呈して、非常に淘 汰の悪い細砂~シルト質の火山灰層である. 全体的に軽 石混じりであるが、ユニット3は淡黄色(2.5Y8/4)軽石 のほぼ純層をなしている (MP1.8~2.6 cm). ユニット6 は比較的淘汰の良い淡黄色 (2.5Y8/4)の降下軽石層であ り、灰色味を帯びた軽石や縞状軽石が含まれる、層厚は A0011 地点で 32 cm と最大で, MP は 3.7~4.3 cm であ リ、ACP6中で最も規模の大きいフォールユニットであ る。また、このユニットは角張った黒曜石や岩片を含む ことが特徴で、その最大粒径は2.7 cm(波野村笹倉A 0101 地点) である. 最上位のユニット7 は成層した砂質 火山灰層であり、軽石が混在している.

ACP6の全層厚は、ユニット1やユニット6の層厚と 調和して波野村山崎付近で最大となっており、分布主軸 は阿蘇中央火口丘群から東北東方向にある (Fig. 5A). なお、層厚分布から求めた見かけ体積は 0.11 km³ となる (Table 2).

軽石中の有色鉱物は、斜方輝石、単斜輝石である.高田(1989)は、ACP6が角閃石を含む軽石であるとしたが、カルデラ北東方のACP6について再検討を行った結果、斜方輝石と単斜輝石を含むものの角閃石は認められないことが判明している(宮縁・高田,2002).

ACP6 をもたらした噴火の推移をまとめると、以下の ようになる. 軽石を噴出するプリニー式噴火によって開



Fig. 5. Distribution of thickness and maximum pumice size for six pumice-fall deposits from Aso central cones.(A), (C), (E): Isopach maps. (B), (D), (F): Maximum size isopleth maps using the average long-axis diameter of the three largest pumice at each locality.

始し (ユニット 1), つぎに降下軽石を伴いながら淘汰の 悪いデイサイト~流紋岩質火山灰を噴出する噴火に推移 する (ユニット 2~5) が, このフェーズにおいては軽石 の噴出量に変化があり, ユニット3 では軽石を多く噴出 していた. 続いて, 最大規模のプリニー式噴火を起こし (ユニット6), その後は成層した火山灰層を堆積させる 噴火へと変化した.このようにACP6は非常に複雑な噴 火による産物と考えられる.なお,ACP6はほとんど時 間間隙をおかずして,厚い降下スコリア堆積物(波野村 山崎付近で全層厚6m程度)に覆われる(Figs. 2, 3). オリーブ褐色 (2.5Y4/4) 火山灰土層 (層厚 6~10 cm) ^{みずのもと} を挟んだ ACP6 の下位には浅黄色 (2.5Y7/4) の水ノ元 第4 軽石 (略称 MzP4) が存在する.

3-9 阿蘇中央火口丘第 5 軽石 (ACP5)

阿蘇中央火口丘第5軽石(略称ACP5)は、黒雲母斑 晶に特徴づけられる降下軽石である(高田,1989).本層 は、ACP6から多数の降下スコリアを挟んだ上位1~5m 付近に存在している(Fig.2). この軽石が純層をなす地 点は確認されていないが、カルデラ北東方では火山灰土 が混在するものの、かなり明瞭な軽石層となっている. 一の宮町手野(A9806地点)では層厚16cm程度と最大 であり、南方へ行くにしたがって層厚は薄くなる.カル デラ東方の波野村付近では火山灰土層中に軽石が散在す る産状を示す. MPの分布も層厚分布と調和的で、一の 宮町手野で最大値1.9cmであることから、本層の分布

主軸は阿蘇中央火口丘群から北北東方向にあることがわ かる (Fig. 5B). ACP5 の見かけ体積は 0.15 km³ 程度と 考えられる.

軽石が散在する層準の直下~下位 50 cm 付近には、や や固結した暗灰黄色 (2.5Y4/2)の火山灰層 (層厚 25~ 160 cm 程度)があり (Figs. 2, 3), ACP5 を対比する際の 手がかりとなっている (宮縁・高田, 2002).

3-10 阿蘇中央火口丘第 4 軽石 (ACP4)

阿蘇中央火口丘第4軽石(高田,1989;略称ACP4) は、後述する草千里ヶ浜軽石とともに阿蘇カルデラ周辺 域において最も良い指標となるテフラの一つである.

この軽石層は多数のフォールユニットで構成され,詳 細なユニット対比はできていないが,多くの地点では黄 褐色(10YR5/6)粘土層によって3~4のユニットに区分 される(Fig. 4D).その粘土層の存在は,噴火中にわずか な時間間隙があった可能性を示唆している.最下位の フォールユニットは最も厚く,黒曜石に富むことが特徴 である.また最下位から中部にかけてのユニットは縞状 軽石が多く混在している.さらに最上位のユニットには 発泡の悪い軽石も含まれる.

軽石は全体的に淡黄色 (2.5Y8/4)~黄色 (2.5Y8/6)を 呈し、有色鉱物としては斜方輝石と単斜輝石が認められる.

ACP4 全体の層厚は, 波野村池ブ鶴 (A9820 地点) で 最大 159 cm であり, 東方では大分県荻町新藤 (A0212 地点) においても 26 cm の層厚を有している (Fig. 5C). 分布主軸は東北東方向にあるが, カルデラ西方において も本層を確認することができる. この ACP4 の見かけ体 積は, 0.43 km³ 程度である (Table 2).

また、この軽石層は埋没土壌層を挟まずに黄褐色 (2.5 Y5/3) の火山灰層に覆われることが、各露頭に共通した

特徴である.

黄褐色の (10YR5/6) 粘土質火山灰土層(層厚 2~8 cm)を挟んだ ACP4 の下位には, 縞状軽石と黒曜石を含 む水ノ元第3軽石(略称 MzP3)が存在する.

3-11 阿蘇中央火口丘第3 軽石 (ACP3)

高田(1989)は、阿蘇中央火口丘第3軽石(略称 ACP3)が火山灰層を挟んだACP4の上位に存在する軽 石であり、黒雲母斑晶を含むことが特徴であると報告し ている。今回詳細な調査を行った結果、ACP4との間に は複数の黄褐色(2.5Y5/3)火山灰層および火山灰土層が 存在することが明らかとなった(Fig. 4D)が、いずれに せよACP4との組み合わせが本層確認の手がかりと なっている。

本層が純層をなすのは、波野村池ノ鶴(A9820 地点) から水ノ元(A9831 地点)にかけての地域であり、層厚 は13~19 cm 程度である。それ以外の地点では軽石が火 山灰層中に散在する産状を示す。カルデラ北東方でわず かに認められるのみであるが、東方の荻町新藤(A0212 地点)においては MP が 2.9 cm と大きい.一方、カルデ ラ西縁の長陽村立野(A0001 地点)においてもその存在 が確認できる (MP 1.2 cm). これらのことから、ACP3 は東北東方向に軸をもつ、細長い分布を示すことがわか る (Fig. 5D).なお、層厚分布から ACP3 の見かけ体積は 0.07 km³程度と考えられる.

軽石層中には黒曜石や縞状軽石を含み、上部にはやや 発泡の悪い軽石も混じっている.また、ほとんど時間間 隙をおかずに層厚 30 cm 程度の火山灰層に覆われるこ とが特徴である.

3-12 草千里ヶ浜軽石 (Kpfa) (阿蘇中央火口丘第2軽 石)

草千里ヶ浜降下軽石(渡辺・他,1982;略称 Kpfa)は、 阿蘇カルデラ周辺域における鍵層となっているテフラで ある.カルデラ北東方においては地表下 5~7 m、東方に おいては地表下 15~19 m 付近に存在し、上位約 0.5~1 m には広域テフラである姶良 Tn 火山灰(略称 AT)が認 められ (Fig. 2)、この両層の存在はカルデラ周辺域にお けるテフラ対比のよい手がかりとなっている。高田 (1989)は、本軽石を阿蘇中央火口丘第2軽石(略称 ACP2)と命名しているが、噴出源が唯一断定されている ことなどから、草千里ヶ浜軽石と呼ばれることが多い.

KpfaもACP6やACP4と同様に、多数のフォールユ ニットで構成されている. 波野村笹倉(A0101地点)より 以北では風化が激しく層厚も薄くなるために、フォール ユニットの識別が困難であるが、それより南の地点では 明瞭な6つのフォールユニットに区分できる (Fig.4E).

本層はカルデラの全周囲で確認できるテフラであり,

全フォールユニットをあわせた層厚は、東方と南方に軸 をもつ特異な分布をしている (Fig. 5E). これは、後述す るようにフォールユニット毎に異なった分布を示すため である.

最下位のユニット1は層厚10~80 cmで,平均粒径 0.5~2 cm 程度(MP2.8~3.4 cm)の浅黄色(5Y7/3)軽石 からなる.ユニットの中央付近には黒色火山灰が2層確 認できることがあり、上部と下部に分けられる.下部は やや淘汰が悪く、逆級化構造が認められる.上部は下位 に比べて細粒で淘汰がよい.全体的に岩片量は少ない が、下部にはわずかな岩片と黒曜石が含まれるととも に、縞状軽石が存在する.また最上位には灰色の火山灰 層がみられる.このユニットは、南に行くほど層厚が大 きくなる(Fig.4E)ため、分布主軸は東南~南方向にあ るものと考えられる.

ユニット2は、細砂~中砂粗砂の火山灰互層からな る. 色調は下部が灰色から黄白色、上部が黒色を呈する. このユニットも南方ほど層厚が大きくなり(Fig. 4E)、 堆積構造も複雑で下部は細粒な軽石の互層となる. ユ ニット1との間にはにぶい黄褐色(10YR5/4)粘土層 (層厚約2 cm)が認められることもあり、噴火中にわず かな時間間隙の存在も示唆される.

ユニット3は、極粗砂~1 cm 程度の淘汰の良い軽石 からなっている. 中央付近には黄白色や黒色の火山灰層 が挟まることがある. 南に行くにしたがって層厚,粒径 ともに大きくなる (Fig. 4E). また高森町大畑 (A9745 地 点) においてのみ、ユニット2 との間にオリーブ褐色 (2.5Y4/3) 粘土層が認められる.

ユニット4は、浅黄色 (2.5Y7/3) を呈する細砂~中砂 質の火山灰層である. どの地点においても、層厚は概ね 2~3 cm 程度で、明瞭に認められる. 炭化物を含むこと があるが、下位および上位のユニットとの間にはほとん ど時間間隙は存在しないものと考えられる.

ユニット5は、最も厚くて粗粒で、Kpfaの主体をなす フォールユニットである.最下位10cm程度は細粒で淘 汰がよく、上部ほど粗粒で淘汰も悪くなる.また最上部 20cm程度はやや細粒で黒色火山灰を挟むことがある. MPは下部が1.2~2cm、中部が2.9~5cm、上部が2.2~ 2.7cmである.下部ほど黒色岩片や黒曜石が多く含まれ る.このユニットの層厚は、波野村水ノ元(A0013地点) において最も大きく(135cm)、そこから北方および南方 に向かって小さくなる(Fig.4E).したがって、分布主軸 は東北東方向にあるものと考えられる.

最上位のユニット6は、黒色火山灰(中砂質)を含む 部分が互層するユニットであり、全体的に灰色~黒色を 呈している.下位のユニットに比べて淘汰が悪く、黒色 および縞状軽石がやや多量に含まれる. さらに岩片や黒 曜石も多く認められる. このユニットも A0013 地点に おいて層厚が 52 cm と最大で,ユニット 5 と同様の分布 を示すものと考えられる. ユニット 3~6 までの間には 時間間隙を示すような堆積物は認められない.

全ユニットの層厚分布(Fig. 5E)から求めた見かけ体積 は 2.39 km³ で, VEI は 5 となり (Table 2), Kpfa は Aso-4 以降,最大級の噴火による産物であることがわかる.

Kpfa 直下の 90~150 cm 程度は黒色味の強い(暗オ リーブ褐色: 2.5Y3/3) 埋没土壌層となっており(Figs. 2, 3), これは阿蘇カルデラ周辺域に特徴的なものとなって いる(渡辺・高田, 1990;山田・久保寺, 1996). この土壌 層中には, 層厚 4~14 cm の水ノ元第1 軽石(略称 MzP 1) やスコリア, 複数の火山灰層が挾在している. 直下の 埋没黒ボク土層の存在も Kpfa を認定する上のよい手が かりとなっている.

3-13 中久保第2軽石(NbP2;新称)

本層は、カルデラ東方域において地表と Kpfa との間 のほぼ中央付近 (地表下 5.5~12 m) の褐色火山灰土中 に散在する軽石として認められる (Fig. 2). その層準か ら当初、阿蘇中央火口丘群南側斜面において中岳古期山 体溶岩流 (小野・渡辺, 1985) の上位に認められる保手 が谷軽石(略称 HP; 馬場・他, 1999)に対比されると考 えられた(宮縁・高田, 2002). しかし, HP が斑晶鉱物 として角閃石を含む(馬場・他,1999)のに対し、本層の 軽石中には有色鉱物として斜方・単斜輝石しか認められ なかった. また本層の MP 分布は, 馬場・他 (1999) が示 した分布とは異なり、主軸は東北東方向にある (Fig. 5F). したがって、本層は HP とは別の軽石である可能 性が高いため、中久保第2軽石(略称 NbP2)と新称を与 えた. HP に関しては、本層と近い層準に存在するもの と考えられるが、具体的な層準を特定できるには至らな かった、本層が純層として観察される地点は存在しない が、80~120 cm 上位の中久保第1軽石(略称 NbP1)と ともに AT 以降のスコリア層を対比する際の有用な鍵層 となっている.

3-14 阿蘇中央火口丘第 1 軽石 (ACP1)

阿蘇中央火口丘第1軽石(高田, 1989;略称 ACP1) は、K-Ahの上位に存在し、完新世では唯一の降下軽石 である(Figs. 2, 3). この軽石が純層をなすのは中央火口 丘群北西部の蛇ノ尾付近(A9458 地点)のみで、それ以 外の地点では中岳 N7 期(3,780~3,650 yrs BP)火山灰層 中に散在する(渡辺, 1992;宮縁・渡辺, 1997). このよう な産状はカルデラ東方域まで追跡することが可能で(小 野・他, 1995),完新世におけるよい鍵層となっている. 軽石中の有色鉱物としては黒雲母を含むことが特徴であ る (高田, 1989).

4. 降下軽石の噴出年代

阿蘇カルデラとその周辺地域においては、広域テフラ 以外にいくつかのテフラと埋没土層の¹⁴C年代値がこれ まで報告されている.

宮縁・渡辺 (1997) はテフラ間に挾在する埋没黒ボク 土層の¹⁴C 年代から完新世主要テフラの噴出年代を推定 し、ACP1 は約 3,700 yrs BP であると述べている.また、 地表から連続する黒ボク土層最下部の年代については北 東外輪山付近で約 11,000 yrs BP という¹⁴C 年代が得ら れている(山田・他、1997).さらに、カルデラ周辺で鍵 層となっている草千里ヶ浜軽石 (Kpfa)の噴出年代は約 26,600 yrs BP と報告されている(山田・他、1997). Aso-4 火砕流堆積物に関しては、89±7 ka という K-Ar 年代 が得られている(松本・他、1991).しかしながら、Kpfa より下位の降下テフラの放射年代については、これまで 全く報告例がない.

そこで、本研究では阿蘇カルデラおよびその周辺域に おいて、テフラ直下の埋没土壌を多数採取し、加速器質 量分析 (AMS) 法による¹⁴C 年代測定を実施した (Table 3).分析は 10 点の試料に関しては米国 Beta Analytic 社 に依頼したが、それ以外の 14 試料については、筆者の一 人である徐が核燃料サイクル開発機構東濃地科学セン ターのタンデム型加速器質量分析計(NEC 社製 15SDH- 2型)を使用して行った. なお、どちらの分析も¹⁴C年代 の算出には、Libbyの半減期 5,568 年を使用し、る¹³C (¹³C/¹²C比)によって同位体分別効果を補正し、 さらに暦年較正を行った(Table 3).¹⁴C年代の暦年較正 は 20,000 yrs BPまでの年代については Stuiver *et al.* (1998)を、20,000 yrs BPより古い年代は Kitagawa and van der Plicht (1998)のデータセットを用いている.以 下の議論では、¹⁴C年代でなく暦年較正年代(cal yrs BP) を用い、それらの年代については他の方法で得られた年 代と同様に ka の単位で示す.また、風乾した土壌試料は 粉砕した後、九州沖縄農業研究センター所有の Elementar 社製全自動元素分析装置 vario ELを用いて、炭素・ 窒素含有量を定量した.

地表から Aso-4 までが観察された産山村牧野牧場(A 9915 地点)におけるテフラなどの層位と年代を Fig.6 に 示した.その地点では全ての降下軽石を観察できるわけ ではないが、存在しない軽石については層序関係の対比 によって推定されるおおよその層準を表示している.

まず前章で述べた阿蘇カルデラ周辺域において普遍的 に存在する草千里ヶ浜軽石(Kpfa)直下の埋没黒ボク土 層(渡辺・高田,1990;山田・久保寺,1996)最上部の較 正年代は約31kaであり、山田・他(1997)の年代を暦年 較正した結果ともほぼ一致しており、Kpfaの噴出年代 として妥当であることが確認された.また、この埋没黒 ボク土層基底部の較正年代は約32kaで、上下の層位関

Table 3. Results of AMS ¹⁴C dating for buried soils around Aso caldera.

Stratigraphic position	Sampling site	Depth	С	Ν	C/N	$\delta^{13}C$	Conventional ¹⁴ C age*	Lab code	Calibrated age**
		(m)	(%)	(%)		(¹³ C/ ¹² C ratio)	(yrs BP)		(cal yrs BP)
soil below YmS4	A9746	5.7	0.50	0.08	6.27	-22.8	$14,680 \pm 80$	Beta- 116207	17,570
soil below YmS15 ash	A9746	9.8	0.25	0.02	11.64	-22.1	$18,120 \pm 100$	Beta- 116206	21,530
soil below Nakadake ash	A0101	8.2	-	-	-	-22.5	$17,840 \pm 90$	Beta- 164163	21,210
soil above AT ash	A0101	8.6	-	-	-	-22.6	$20,830 \pm 100$	Beta- 164164	24,000
soil below Kpfa	A9745	20.5	0.70	0.06	10.97	-18.5	$26,730 \pm 260$	Beta- 115302	31,000
bottom of blakish soil	A0101	11.3	1.49	0.09	16.21	-20.7	$27,700 \pm 200$	JNC- 3933	32,000
soil above ACP3	A9745	25.7	0.13	0.03	4.47	-17.7	$24,380 \pm 460$	Beta- 115303	28,000
soil above ACP3	A9831	24.9	0.28	0.02	15.29	-24.0	$25,200 \pm 200$	JNC- 3942	30,000
soil below ACP3	A9831	25.4	0.21	0.01	16.59	-22.5	$20,500 \pm 150$	JNC- 3937	24,000
soil below ACP4	A0101	15.0	0.23	0.02	11.31	-21.9	$16,150 \pm 90$	JNC- 3934	19,260
soil below ACP4	A9745	28.0	0.23	0.06	3.81	-22.4	$26,550 \pm 250$	Beta- 115301	31,000
soil below MzP3	A9831	27.4	0.28	0.02	14.10	-22.8	$30,000 \pm 250$	JNC- 3938	33,000
soil below MzP3	A0101	15.0	0.34	0.03	11.24	-22.5	$30,900 \pm 250$	JNC- 3935	34,000
soil above ACP5	A9831	28.5	0.21	0.01	19.56	-22.8	$23,600 \pm 170$	JNC- 3941	26,000
soil below ACP5	A9915	9.2	0.99	0.06	15.68	-22.8	$32,600 \pm 300$	JNC- 3947	36,000
soil below ACP5	A9831	31.7	0.36	0.02	19.54	-22.1	$26,300 \pm 200$	JNC- 3940	31,000
soil below ACP6	A0101	18.8	0.30	0.02	13.02	-20.7	$23,800 \pm 160$	JNC- 3936	26,000
soil below MzP4	A9831	36.5	0.35	0.02	18.88	-22.5	$27,900 \pm 200$	JNC- 3939	32,000
soil below Handa pfl	A9915	11.6	0.91	0.07	13.30	-22.9	$24,050 \pm 160$	JNC- 3948	28,000
soil below SsP1	A9903	36.3	0.27	0.01	30.43	-22.2	$31,400 \pm 250$	JNC- 3944	35,000
soil below SsP1	A9746	29.2	-	-	-	-20.6	$34,590 \pm 470$	Beta- 115304	37,000
soil below SsP2	A9903	36.5	0.29	0.02	17.04	-22.8	$29,800 \pm 250$	JNC- 3945	33,000
soil below YmP1	A9746	36.7	0.11	0.02	4.35	-23.2	$22,860 \pm 310$	Beta- 115305	25,000
soil below YmP9	A9746	42.7	0.19	0.03	5.64	-21.7	$20,\!350\pm150$	Beta- 117639	24,000

* ¹⁴C ages in the table were analyzed based on the Libby's ¹⁴C half life of 5568 years, and calculated using δ^{13} C values.

** calibrated for <20,000 yrs BP by data sets (Stuiver et al., 1998) and for >20,000 yrs BP by data sets (Kitagawa and van der Plicht, 1998)



Fig 6. Relation between stratigraphic positions of major tephra layers and their eruption ages at site A9915. Solid squares show ¹⁴C ages reconciled with stratigraphic positions of each tephra. Ages of K-Ah and AT are given in Machida and Arai (1978; 1992) and Ikeda et al. (1995), respectively. Open square marks K-Ar age of Aso-4 pyroclastic flow deposit (Matsumoto et al., 1991). Solid circles denote ¹⁴C ages of tephra below Kusasenrigahama pumice-fall deposit (Kpfa); they are incongruous with stratigraphic relations. Eruption ages of tephra layers below Kpfa were assumed by average accumulation rate between Kpfa (31 ka) and Aso-4 pyroclastic flow deposit (89 ka). Broken line denotes average accumulation rate of tephra for about 90,000 years.

係や山田・他 (1997) が報告した 28,100 yrs BP (約 32 ka) という年代とも調和している.

さらに下位に存在する埋没土壌層の較正年代は Fig. 6 に黒丸で示したが、それらの多くは上位の Kpfa よりも 若い年代が得られ、層位関係と矛盾している. MzP3 直 下の土壌から得られた約 33 ka と約 34 ka という 2 つの 較正年代は層位関係と矛盾したものではない. しかし、 ACP4 直下の土壌の較正年代は約 19 ka と約 31 ka であ リ、ACP4とMzP3はほぼ同じ層位にあるにもかかわらず、それらの年代値は11,000年以上の範囲にばらついている。
 さらにACP5についても、約36~26 kaと年代値は1万年の幅をもっている。

このように、Kpfa 直下の埋没黒ボク土層より下位の 層準から得られた較正年代値の大部分は、層位関係と矛 盾するものであり、また矛盾していなくても同じ層位で 大きくばらついている.これは、土層生成後に地下水な どの影響で汚染されるなどして、実際よりも若い年代に なった結果と推定される.これらの土壌試料に関して は、今後再測定や年代値のスケールオーバーの有無など の検討が必要であると考え、現時点においては採用しな いことにした.

そこで、本論では Kpfa 直下埋没黒ボク土層基底部 (地表下 6.36 m; 約 32 ka) と Aso-4 (地表下 19.48 m; 89 ka)の層位と年代を用いて(直線による比例配分), Kpfa より下位に存在する主要な降下軽石の噴出年代を推定し た(Fig. 6). この 2 点間を結んだ直線は過去約 9 万年間 の平均堆積速度(Fig. 6の破線)にほぼ近いことがわかる.

今回用いた方法によって、主要な降下軽石の噴出年代 は、 OgP が約 80 ka、 YmP9 が約 70 ka、 YmP5 が約 69 ka、SsP2 が約 57 ka、SsP1 が約 56 ka、ACP6 が約 52 ka、 ACP5 が約 45 ka、ACP4 が約 40 ka、ACP3 が約 39 ka と なり、また AT~K-Ah 間に存在する NbP2 の年代は約 18 ka と推定された. さらに、Aso-4 と OgP 間に存在す る NjP の年代は 85 ka 前後と考えられた.

同様の方法によると、ACP6下位に挾在する九重火山 起源の飯田火砕流堆積物の噴出年代は約54 ka となる. 飯田火砕流の年代については、これまで多くの報告があ る.町田 (1980) は、飯田火砕流ステージの噴出物である 九重第1軽石の噴出年代をATやAso-4火砕流の年代と 層序関係から 35~30 ka と推定した. 最近では、川辺・ 他 (1996) が飯田火砕流堆積物を覆う別の火砕流堆積物 の¹⁴C年代として 45,590 ± 990 yrs BP を報告しており, 奥野・他 (1998) も飯田火砕流堆積物下部に含まれる炭 化木片と火砕流直下の土壌の加速器¹⁴C年代として >40,000 yrs BP を得ている. また鎌田・他 (1998) は、飯 田火砕流堆積物中のジルコンのフィッション・トラック 年代として,80~70 ka を報告している。今回得られた飯 田火砕流の推定噴出年代は、川辺・他 (1996) や奥野・ 他 (1998)の結果とは調和しているが、鎌田・他 (1998) の年代値とはややかけ離れた結果となっている. 飯田火 砕流堆積物と Aso-4 との間には膨大な量の降下テフラが 存在することがわかっている (Fig. 3). Aso-4の K-Ar 年 代は 89 ka であり(松本・他, 1991), 飯田火砕流の年代 として 80~70 ka を採用したとすると、Aso-4 噴火後 1~

2万年間に相当高い噴出率を仮定しなければならない. このことは、阿蘇カルデラ形成直後から2万年以内に多 量の火山岩(中央火口丘群西部のボーリングコアで厚さ 約800m)が噴出されたとする宇都・他(1994)の考えと も調和するものであるが、カルデラ東方域のテフラ層序 からは飯田火砕流の上位と下位で、それほど大きな噴出 率の変化があったとは見えない.以上のことから、飯田 火砕流の噴出年代としては50ka前後が適当ではないか と考えている.

噴出量はさまざまであるが、小規模な降下軽石堆積物 も考慮すると、阿蘇中央火口丘群は Aso-4 以降、2,500 年 に1回程度の頻度で軽石を噴出する噴火を繰り返してい ることが明らかとなった。

5. 噴出源の推定と阿蘇中央火口丘群山体との対比

これまで阿蘇中央火口丘群起源の降下軽石の特徴とそれらの主要なものの推定噴出年代について述べた. 降下 軽石の大部分はカルデラ内で観察できないために,等層 厚線や分布軸から噴出中心を求める方法は適用できない. 本章では.軽石の斑晶鉱物や年代により,噴出源で ある中央火口丘群山体との対比を試みる.

まず完新世の降下軽石である ACP1 の給源は、その分 布から米塚溶岩に覆われる地域とされている(小野・ 他、1995)が、対応する山体が地表に存在しておらず、具 体的な火口位置が特定されていない.

Kpfaは、その名称からわかるように噴出源が唯一明 らかにされている降下軽石である。その分布が示すだけ でなく、給源である草千里ヶ浜火口に隣接する斜面で は、軽石の厚い溶結部が存在している(渡辺・他、 1982).

黒雲母斑晶を含む ACP3 (39 ka) と ACP5 (45 ka) の 給源としては、阿蘇中央火口丘群で唯一の黒雲母流紋岩 である高野尾羽根火山 (渡辺, 2001) が当初考えられた (高田, 1989). 高野尾羽根溶岩 (火山研究所溶岩;小野・ 渡辺, 1985)の上位には、厚いテフラを挟まずに Kpfa が 堆積していることから判断すると、高野尾羽根火山が ACP3の給源火山である可能性が高い. 高野尾羽根溶岩 ではすでに 51±5 ka という K-Ar 年代が得られており (松本・他, 1991)、その年代と今回得られた ACP3 の噴 出年代 (39 ka)にはやや差があるが、大きな矛盾はない であろう.

角閃石を含む SsP2 (57 ka) は、輝石角閃石デイサイト の本塚火山(小野・渡辺, 1985)が噴出源である可能性 が推定された.本塚火山の K-Ar 年代は 46±9 ka であり (松本・他, 1991), SsP2 の推定噴出年代は K-Ar 年代の 誤差範囲に近い値である.しかし、本塚火山の溶岩には ほんのわずかの角閃石しか含まれない(Watanabe and Katsui, 1976)のに対し, SsP2 には多量の角閃石が認められる.両者の間には角閃石含有量に非常に大きな差があることから, SsP2 の給源は本塚火山ではなく,現在の中央火口丘群の地下に存在する山体であると推定される.

他の軽石については、特徴的な斑晶鉱物組合せが認め られないために、噴出源の推定は難しいが、中央火口丘 群溶岩の層序関係(小野・渡辺,1985;渡辺,2001)から 考慮すると、ACP4(40 ka)は輝石デイサイトの立野溶 岩に対比される可能性がある。しかしながら、他にも輝 石安山岩~輝石デイサイトの白水火山(30±6 ka;松 本・他、1991)やデイサイトの白水火山(30±6 ka;松 な・他、1991)やデイサイト~安山岩の御竈門山火山な どの火山があり、対比には問題を残している。ACP5よ り下位の降下軽石については、現在地表には見えていな い中央火口丘群初期の岩体(宇都・他、1994;渡辺, 2001)に対比されると考えられる。

このように、本研究によって発見された 36 層に及ぶ 降下軽石堆積物の噴出源は、阿蘇火山において現在地表 に現れている山体だけでは説明することができず、中央 火口丘群の地下にはデイサイト~流紋岩質の山体が多く 存在していることを示唆している。

テフラ層序からみた阿蘇中央火口丘群における過 去約9万年間の噴火史の概要

Aso-4 火砕流以降に堆積したテフラの大部分は、岩相 が酷似した降下スコリアおよび火山灰からなり (Fig. 3)、それらの対比にはまだまだ多くの問題が存在してい る.しかし、本論で述べた 30 層以上の降下軽石堆積物の 発見は、膨大なテフラ累層を対比する際の大きな手がか りとなっている。そこで本章では、鍵層となる降下軽石 層をもとに過去約9万年間における阿蘇火山の噴火史、 軽石をもたらした噴火の規模や頻度、さらに噴火史全体 の中での軽石噴火の意味について考察する (Fig. 7).

Aso-4 以降,70 ka 頃までの約2万年間は,降下軽石・ スコリアを噴出する噴火を間欠的に繰り返したが,約85 ka に VEI 4~5 程度の野尻軽石 (NjP) と約80 ka に VEI 4 程度の小柏軽石 (OgP)を噴出した.給源は現在,地下 に埋もれる中央火口丘群初期の山体(宇都・他,1994; 渡辺,2001)であると考えられる.

70~60 ka には軽石の噴出(山崎第5軽石:YmP5)に 始まる多量の火山灰を放出する噴火が継続し,周辺地域 に著しく成層した火山灰層を堆積させた(Fig. 2). その 噴火中には間欠的に軽石(山崎第4~第1軽石:YmP4~ YmP1)も放出している.

60 ka 以降はスコリア噴火を間欠的に繰り返し,発泡の悪いスコリアや岩片をカルデラ東方域に堆積させた



Fig. 7. Stratigraphy and explosive magnitude of pumice-fall deposits from Aso central cones during the past 90,000 years. Detail names of pumice-fall deposits are shown in Tables 1 and 2. *Accurate stratigraphic positions cannot be determined.

が、約57 ka には角閃石を多量に含む笹倉第2軽石 (SsP 2)を、さらに56 ka には笹倉第1軽石 (SsP1)を噴出し ている、52 ka 頃までは、火山灰とスコリアを交互に噴出 する噴火が繰り返され,約 54 ka には九重火山から飯田 火砕流の噴出があった (Fig. 3).

その直後 (52 ka) に複雑なフォールユニットをもつ阿 蘇中央火口丘第6 軽石 (ACP6) が降下堆積する. ACP6 噴出後はほとんど時間間隙をおかずして,厚い降下スコ リア(波野村山崎付近で全層厚6m程度)を堆積させる 噴火へと移行した (Fig. 3).

そのスコリア噴火の後は、火山灰を放出する噴火など が間欠的に起こっているが、45 ka頃には黒雲母斑晶を 含む阿蘇中央火口丘第5軽石 (ACP5)をもたらす噴火 が発生した。それからもスコリアや火山灰を噴出した 後、40 kaに Aso-4 以降最大級の噴火の一つ (VEI 4)が 発生して阿蘇中央火口丘第4軽石 (ACP4)を降下堆積 させた。火山灰噴出が継続した後、39 kaに高野尾羽根火 山の位置で阿蘇中央火口丘第3軽石 (ACP3)の噴出と 黒雲母流紋岩ドームを形成する噴火(小野・渡辺, 1985) が起こった。

39~32 ka にはスコリアを放出する噴火が間欠的に起こるが、32~31 ka は比較的静穏な時期に入って、阿蘇火山周辺では黒ボク土層が生成し(渡辺・高田、1990;山田・久保寺、1996)、旧石器時代の遺跡も残された(小畑・他、2001).

約31 ka には Aso-4 以降最大級の噴火 (VEI 5) が草千 里ヶ浜で発生し、草千里ヶ浜軽石 (Kpfa) がカルデラ周 辺の広範囲に堆積した. その後は AT (29 ka; 奥野, 2002)の堆積があるが、その頃再び比較的静穏な時期と なり、旧石器人の活動が認められる (小畑・他, 2001; 宮 縁・高田, 2002).

21 ka には中岳火山の活動が開始し,最初は火山灰と スコリアの噴出が続き(宮縁・高田,2002),中岳古期山 体溶岩(小野・渡辺,1985)の流出があった(馬場,1999). その後も中岳はスコリアを間欠的に放出する(宮縁・他, 2002)が,13 ka を境に活動はそれまでの時期と比較して かなり穏やかとなり,灰噴火を主体とする噴火スタイル (小野・他,1995; Ono *et al.*, 1995)へと推移した.

K-Ah (7.3 ka) 以降も間欠的に灰噴火を継続するが,4 ka (宮縁・渡辺,1997) には現在米塚溶岩に覆われる地 域で阿蘇中央火口丘第1軽石 (ACP1)を放出する噴火 が起こった (小野・他,1995).3.7~3 ka には杵島岳・往 生 岳で降下スコリアを噴出する準プリニー式噴火が発 生した (中村・渡辺,1995; 宮縁・渡辺,1997).その後も 中岳は休止期や静穏期を挟みながら, 灰噴火を主体とし た活動を現在まで継続している.

過去約9万年間に軽石を放出した噴火をみると、最も 大規模な VEI 5のプリニー式噴火が2回 (NjPとKpfa 噴出), VEI4の噴火が8回発生しており, VEI4以上の 噴火は1万年間に1回程度起こっていることがわかる. また、それよりも規模の小さいVEI3の噴火が16回、 VEIが3より小さいと推定される噴火は10回とさらに 高い頻度で発生していることが明らかとなった(Fig.7).

最後に、噴出物量の時間的変化をみるために、阿蘇火 山における最近9万年間の降下テフラ噴出物量階段図を 作成した (Fig. 8). 主要な軽石に関しては体積を計算で きた (Table 2) が、鍵層間のテフラについては、降下ス コリア・火山灰・小規模な軽石・火山灰土層を含めた全 層厚分布図を作成して、主要な軽石と同様の方法によっ て見かけ体積を算出し、斜線(鍵層間の線分)として表 現している.火山灰土層中には、大陸起源の風成塵や他 火山から飛来したテフラが混入していることは否定しな いが、それらの堆積速度は活火山が近隣に存在しない地 域で20~40 mm/ky程度と報告されており(鈴木, 1995)、阿蘇火山の噴出物量に比べると無視し得るもの と考える. また, テフラの密度は阿蘇中岳の降下火山灰 で得られた値 1.2 g/cm³(渡辺, 1991)を採用し, 溶岩換 算量 (DRE; 2.5 g/cm³) として表している. なお, Fig. 8 に示したのは、Aso-4以降の降下テフラの噴出物量のみ であり、中央火口丘群山体の溶岩や火砕岩の体積は含ま れていないこと、さらに草千里ヶ浜軽石 (Kpfa) より下 位のテフラに関しては正確な噴出年代が得られていない ので、階段図として示すには若干の問題がある.

阿蘇火山における最近約9万年間の降下テフラ全噴出 量 (DRE) は 18.1 km³ と見積もられ、平均すると約0.2 km³/ky となる. この値は、最近2.5万年間の霧島火山の 平均テフラ噴出量0.09 km³/ky(井村、1994)の2倍程度 で、また10~3万年前の姶良カルデラ火山のテフラ噴出 量0.36 km³/ky(長岡・他、2001)と同じオーダーである.



Fig. 8. Cumulative erupted volume versus time for air-fall tephra layers after the Aso-4 eruption (89 ka).

2,500年間に1回程度噴出している降下軽石について みると、Kpfaのみ約1.1km³(DRE)であるが、他の軽石 は全て0.1km³以下のオーダーであり、約9万年間全体 の中で考えると、全噴出量に対する降下軽石の寄与は大 きくない.降下軽石をもたらす噴火は相対的に規模が大 きいものと考えられるが、阿蘇中央火口丘群全体の噴火 史の中ではむしろ、発生頻度の高い降下スコリアや火山 灰を放出する噴火が累積噴出量の増加に寄与しているよ うである.

阿蘇中央火口丘群山体の体積は37 km³と報告されて いる(第四紀火山カタログ委員会,1999)が、この値は現 在のカルデラ底 (標高約 500 m) より上部に存在する火 山体の体積と考えられる、近年のボーリング調査による と、Aso-4 直後の約2万年間にカルデラを埋積する多量 の火山岩類の存在が報告されている(宇都・他, 1994; 星住・他、1997). また、阿蘇カルデラで得られた重力 データ(小野・他, 1993)によると、カルデラ底の下位に は直径 12 km, 高さ 800 m の円柱に近似できる山体の存 在が推定される. これらのことから、中央火口丘群山体 の全体積は 127 km³ 程度と見積もることができ, さらに 山体の密度を 2.2 g/cm³と仮定する(小野・他, 1993)と, DRE 換算で約 112 km³となる. これは、降下テフラ全噴 出量の約6倍の値である。阿蘇中央火口丘群山体と降下 テフラを合わせた約9万年間の全噴出量は約130 km³と なり, 平均マグマ噴出率は約 1.5 km³/ky と算出され, 日 本の第四紀火山の平均値 0.1~1 km³/ky (小野, 1990) と 同等あるいは、1オーダー大きな値である.

7.まとめ

阿蘇カルデラ形成以後の阿蘇中央火口丘群降下テフラ は、カルデラ東方域において厚さが100mに達する累層 となっている。その累層は降下スコリアと火山灰を主体 としていて岩相変化に乏しいが、それらに挾在する降下 軽石堆積物は対比を行う上で有用な鍵層である。本論で は、比較的対比が容易である主要な降下軽石堆積物の層 序や岩相、噴出年代について明らかにした。

主要な軽石層とそれらの年代は、下位より野尻軽石 (NjP; 85 ka),小柏軽石(OgP; 80 ka),山崎第5軽石 (YmP5; 69 ka),笹倉第2軽石(SsP2; 57 ka),笹倉第1軽 石(SsP1; 56 ka),阿蘇中央火口丘第6軽石(ACP6; 52 ka),同第5軽石(ACP5; 45 ka),同第4軽石(ACP4; 40 ka),同3軽石(ACP3; 39 ka),草千里ヶ浜軽石(Kpfa; 31 ka),中久保第2軽石(NbP2; 18 ka),阿蘇中央火口丘第 1軽石(ACP1; 4 ka)である。大部分の軽石に含まれる有 色鉱物は斜方輝石と単斜輝石であるが、NjP,ACP5, ACP3とACP1には黒雲母斑晶が含まれ。NjPとSsP2 には角閃石斑晶が認められ、こうした特徴はテフラの対 比に有用であった.

阿蘇火山における最近約9万年間の降下テフラ全噴出 量 (DRE)は18.1 km³と見積もられ、平均すると約0.2 km³/kyである.この中で1回の噴火における軽石の噴 出物量は0.03~1.1 km³と規模の違いはあるが、阿蘇中 央火口丘群はAso-4以降,2,500年に1回程度の頻度で 軽石を噴出する噴火を繰り返しており、規模の大きな VEIが4以上の噴火は1万年に1回程度発生している ことが明らかとなった.また、36層に及ぶ降下軽石層の 存在は、阿蘇火山において現在地表に現れている山体以 外に、デイサイト~流紋岩質の山体が中央火口丘群の地 下に多く存在していることを示唆している.

謝 辞

本研究を進めるにあたり,熊本県阿蘇地域振興局林務 課には工事情報の提供を受けるとともに,現地調査の許 可をいただいた.林道工事担当者には調査の便宜をは かっていただいた.熊本県文化課の馬場正弘氏には阿蘇 火山のテフラについて貴重なご意見をいただいた.炭 素・窒素含有量の測定では、農業技術研究機構九州沖縄 農業研究センターの荒川祐介氏にお世話になった.U.S. Geological Survey の Cynthia A. Gardner 氏には英文を校 閲していただいた.また,2名の匿名査読者と編集担当 である東宮昭彦氏のコメントは本論を改稿する上でたい へん有益であった.以上の方々に心から感謝いたし ます.

引用文献

- 馬場正弘 (1999) 阿蘇南郷谷に伏在する溶岩流. 熊本地 学会誌, 120, 2-8.
- 馬場正弘・渡辺一徳・宮縁育夫 (1999) 阿蘇中央火口丘 南部における中岳の噴出物の層序. 熊本大学教育学部 紀要(自然科学), 48, 133-146.
- 第四紀火山カタログ委員会(編)(1999)日本の第四紀火 山カタログ、日本火山学会, CD-ROM.
- Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bull. Volcanol.*, 54, 156–167.
- 早川由紀夫・井村隆介 (1991) 阿蘇火山の過去 8 万年間 の噴火史と 1989 年噴火.火山,36,25-35.
- 星住英夫・渡辺一徳・阪口圭一・宇都浩三・小野晃司・ 中村 武 (1997) 阿蘇カルデラ内の深部ボーリングコア で確認された阿蘇-4 火砕流堆積物. 日本火山学会 1997 年秋季大会講演予稿集, 5.
- 池田晃子・奥野 充・中村俊夫・筒井正明・小林哲夫 (1995)南九州,姶良カルデラ起源の大隅降下軽石と入 戸火砕流中の炭化樹木の加速器質量分析法による¹⁴C 年代.第四紀研究,34,377–379.
- 井村隆介(1994)霧島火山の地質.地震研究所彙報, 69,

189-209.

- 鎌田浩毅 (1997) 宮原地域の地質.地域地質研究報告(5 万分の1地質図幅),地質調査所,127 p.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・伊藤順一・星住英夫・川辺禎久 (1998) 九重火山起源の宮城・下坂田・飯田火砕流堆 積物のジルコンのフィッション・トラック年代.火 山,43,69-73.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・鎌田浩毅 (1996) 九重 火山南麓に分布する小規模火砕流堆積物とその¹⁴C年 代、火山噴火予知連絡会会報, 66, 100-101.
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998) A 40,000-year varve chronology from lake Suigetsu, Japan: Extension of the ¹⁴C calibration curve. *Radiocarbon*, 40, 505–515.
- 町田 洋 (1980) 岩戸遺跡のテフラ (火山灰).「大分県岩 戸遺跡」―大分県清川村岩戸における後期旧石器文化 の研究, 広雅堂書店, 443-453.
- 町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布する火山灰一姶 良 Tn 火山灰の発見とその意義. 科学, 46, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴 出した広域テフラ―アカホヤ火山灰.第四紀研究, 17, 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス—日本列島 とその周辺.東京大学出版会,276 p.
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳 (1991) 阿蘇 火山岩類の K-Ar 年代測定一火山層序との整合性と火 砕流試料への適応一. 日本火山学会 1991 年度秋季大 会講演予稿集, 73.
- 宮縁育夫・渡辺一徳 (1997) 埋没黒ボク土層の¹⁴C 年代 からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代.火山,42, 403-408.
- 宮縁育夫・高田英樹 (2002) 波野村笹倉永迫遺跡のテフ ラ層序. 熊本地学会誌, **129**, 2-12.
- 宮縁育夫・星住英夫・渡辺一徳 (2002) 阿蘇火山におけ る約2万~1万年前の降下スコリア堆積物. 日本第四 紀学会講演要旨集, 32, 34-35.
- 長岡信治・奥野 充・新井房夫 (2001)10 万~3 万年前 の姶良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史. 地質雑, 107,432-450.
- 長友由隆・庄子貞雄 (1977) アカホヤ,イモゴ,オンジの 対比ならびに噴出源について一アカホヤの土壌肥料学 的研究(第2報).日本土壌肥料学雑誌,48,1-7.
- 中村 武・渡辺一徳 (1995) 阿蘇火山杵島岳・往生岳の 噴出物と黒ボク土に関する知見について. 熊本地学会 誌, 110, 2-5.
- Newhall, C. G. and Self, S. (1982) The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. J. Geophys. Res. (Oceans & Atmospheres), 87, 1231–1238.
- 小畑弘己・岡本真也・古森政次・渡辺一徳・田口清行 (2001)いわゆる「阿蘇産黒曜石」の産地発見とその意 義一阿蘇象ヶ鼻産ガラス質溶結凝灰岩露頭の発見一. 旧石器考古学, 62, 63-76.
- 奥野 充 (2002)南九州に分布する最近約3万年間のテ フラの年代学的研究.第四紀研究,41,225-236.
- 奥野 充・中村俊夫・鎌田浩毅・小野晃司・星住英夫 (1998) 九重火山,飯田火砕流堆積物の加速器¹⁴C年 代.火山,43,75-79.

- 小野晃司 (1989) 阿蘇火山の岩石. 日本火山学会 1989 年 度秋季大会火山学セミナー「阿蘇火山」, 8-14.
- 小野晃司 (1990) 火山噴火の長期的予測.火山, 34,特別 号, S201-S214.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1983) 阿蘇カルデラ.月刊地球,5, 73-82.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図 (5万分の 1).火山地質図 4,地質調査所.
- 小野晃司・松本徰夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977)竹田地域の地質.地域地質研究報告,5万分の 1 図幅,地質調査所,145 p.
- 小野晃司・渡辺一徳・駒澤正夫 (1993) 重力データから みた阿蘇カルデラの構造.月刊地球,15,686-690.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池辺伸一郎 (1995) 阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物.火山,40, 133-151.
- Ono, K., Watanabe, K., Hoshizumi, H. and Ikebe, S. (1995) Ash eruption of the Naka-dake cater, Aso volcano, southwestern Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., 66, 137–148.
- 小山正忠・竹原秀雄 (1967) 新版標準土色帖. 農林水産 省農林水産技術会議事務局・財団法人日本色彩研究 所.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. and Spurk, M. (1998) INTCAL 98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40, 1041– 1083.
- 鈴木毅彦 (1995) いわゆる火山灰土 (ローム) の成因に関 する一考察─中部から関東に分布する火山灰土の層厚 分布─.火山,40,167-176.
- 高田英樹 (1989) 阿蘇中央火口丘群のテフラ概報. 熊本 地学会誌, 90, 8-11.

- 宇都浩三・阪口圭一・渋谷明貫・吉岡 恒 (1994) 阿蘇カ ルデラ内の深部ボーリングコアの K-Ar 年代測定: カ ルデラ形成直後の火山活動史の解明. 日本火山学会 1994 年度秋季大会講演予稿集, 211.
- 渡辺一徳 (1991) 阿蘇火山中岳の火山活動. 熊本地学会 誌, 98, 2-13.
- 渡辺一徳 (1992) 阿蘇火山. 日本地質学会第 99 年学術大 会見学旅行案内書, 13-32.
- 渡辺一徳 (2001) 阿蘇火山の生い立ち―地質が語る大地 の鼓動―. 一の宮町史 自然と文化阿蘇選書 7, 一の宮 町, 241 p.
- Watanabe, K. and Katsui, Y. (1976) Pseudo-pillow lavas in the Aso caldera, Kyushu, Japan. J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol., 71, 44–49.
- 渡辺一徳・高田英樹 (1990) 阿蘇カルデラ周辺域におけ る火山灰層と黒ボク土の斜交. 熊本大学教育学部紀要 (自然科学), 39, 21-27.
- 渡辺一徳・藤本雅太郎 (1992) 表層地質図「阿蘇山・竹 田」および説明書,土地分類基本調査 (5万分の1),熊 本県,15-28.
- 渡辺一徳・小野晃司・平塚勝一 (1982) 草千里ヶ浜火山 の軽石噴火について.火山, 27, 337-338.
- 渡辺一徳・河野年美・田上貴史・平江美香・高田恵美 (1991) 阿蘇火山中岳の最近 1.5 万年の活動史. 地球惑 星科学関連学会合同大会日本火山学会固有セッション 講演予稿集, 39.
- 山田一郎・久保寺秀夫 (1996) 阿蘇外輪山およびその周 辺地域における阿蘇4以降のテフラ層序と土壌層序. 九州農業試験場研究資料, 83, 1-35.
- 山田一郎・佐瀬 隆・久保寺秀夫 (1997) 阿蘇外輪山及び その周辺の黒ボク土の生成年代と古植生. 日本第四紀 学会講演要旨集, 27, 154-155.

(編集担当 東宮昭彦)